Komputerowe Systemy Sterowania

Struktury Sterowania

– zagadnienia wybrane, przykłady –

Politechnika Gdańska
Wydział Elektrotechniki i Automatyki
Kierunek: Automatyka i Robotyka
Specjalność: Automatyka i Systemy Sterowania
Studia stacjonarne I stopnia: rok III, semestr VI

dr inż. Tomasz Rutkowski
Katedra Inżynierii Systemów Sterowania

©KSS 2015

Komputerowe Systemy Sterowania

Sterowanie:

wpływanie na obiekt w taki sposób
aby powodować jego działanie, zachowanie się,
zgodnie z założonymi wymaganiami

© KSS 2015

Źródło: W.Findeisen „Struktury…

Obiekt sterowany (podlegający sterowaniu):

jest pewną wyodrębnioną częścią środowiska,
w którym występuje,
podlegając kontrolowanym lub niekontrolowanym
przez jednostkę sterującą
wpływom otoczenia

© KSS 2015

Sterowane wielkości wejściowe (wejścia):

obserwacje, cechy wielkości charakteryzujących stan obiektu sterowanego

Niesterowane wielkości wejściowe (zakłócenia):

wejścia które zakłócają pożądane zachowanie obiektu sterowanego

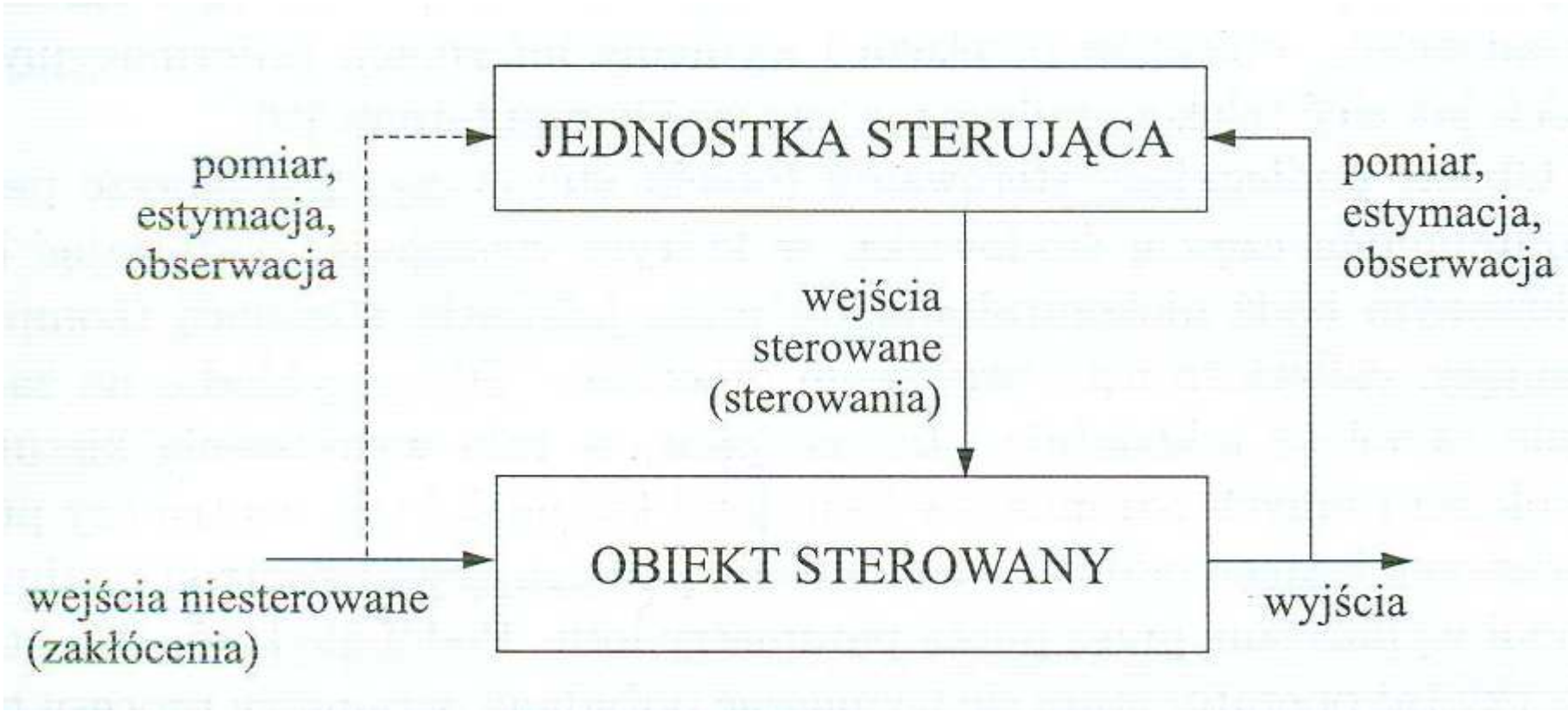
© KSS 2015

Wielkości wyjściowe (wyjścia obiektu):

obserwacje (pomiary) wartości i cechy odpowiednich wielkości charakteryzujących stan obiektu sterowanego

© KSS 2015

Ogólna struktura systemu sterowania



Komputerowe Systemy Sterowania

Cele sterowania (zazwyczaj różnej natury) np. :

- utrzymanie stałej zadanej temperatury w pomieszczeniu
- realizacja zadanej trajektorii lotu samolotu
- maksymalizacja zysków operatora telekomunikacyjnego
- minimalizacja kosztów wytwarzania opakowań z kartonu
- …

© KSS 2015

Aby efektywnie realizować cel główny
(np. ekonomiczny),
należy z reguły zapewnić realizację szeregu celów częściowych
przy braku lub niepełnej informacji
o zachowaniu otoczenia obiektu sterowanego

© KSS 2015

„proste” a „złożone” obiekty sterowania

Wiele obiektów sterowania ma złożoną naturę,

posiada wiele wejść sterowanych, wiele wejść zakłócających oraz wiele wyjść

o skomplikowanej naturze wzajemnych powiązań (oddziaływań) pomiędzy wejściami i wyjściami

© KSS 2015

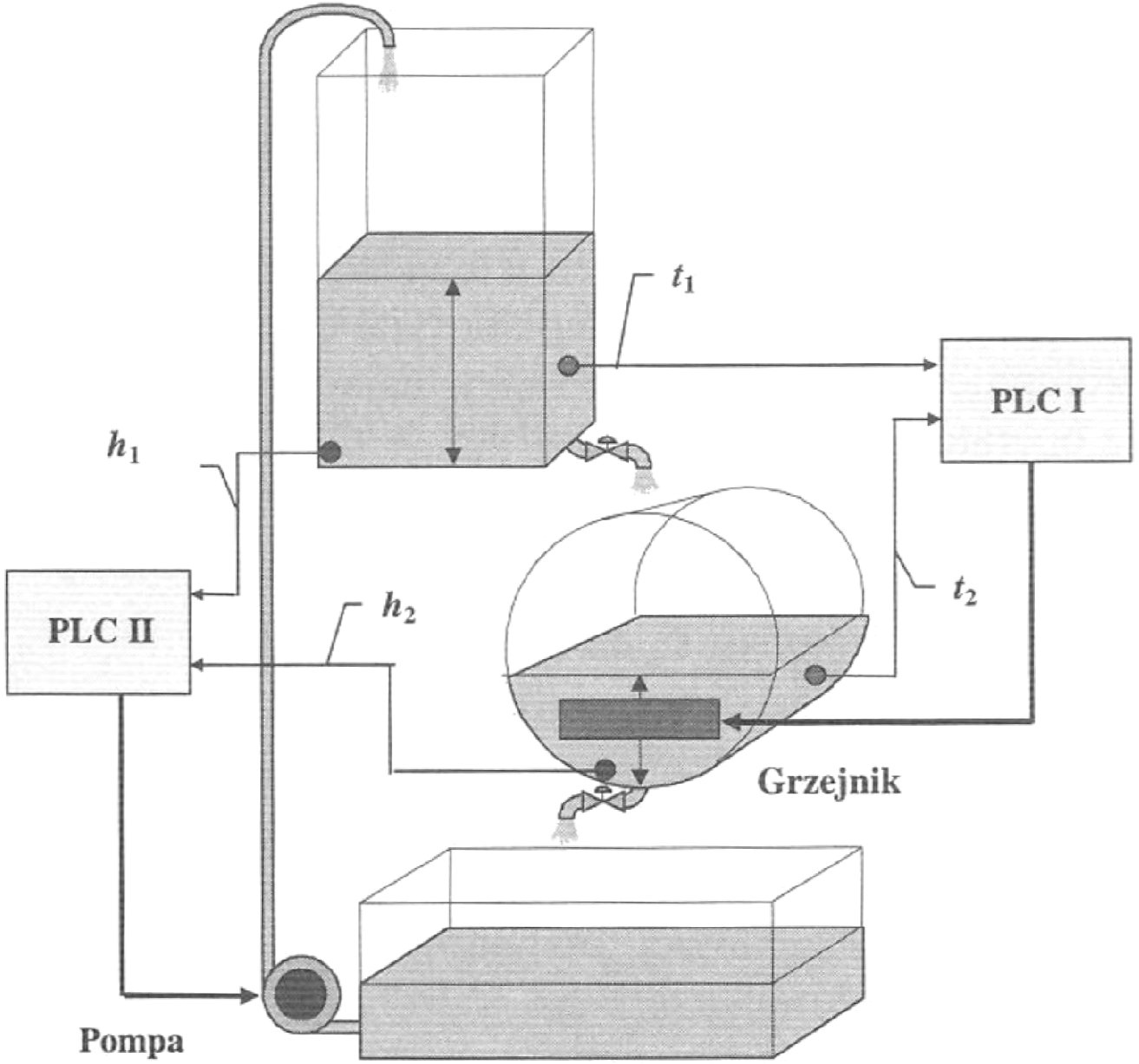
Przykłady

- **różnych struktur sterowania**

(klasyczna, scentralizowana, warstwowa, rozproszona)

© KSS 2015

Przykład klasycznej struktury sterowania



© KSS 2015

Źródło: Grega „Metody i algorytmy…

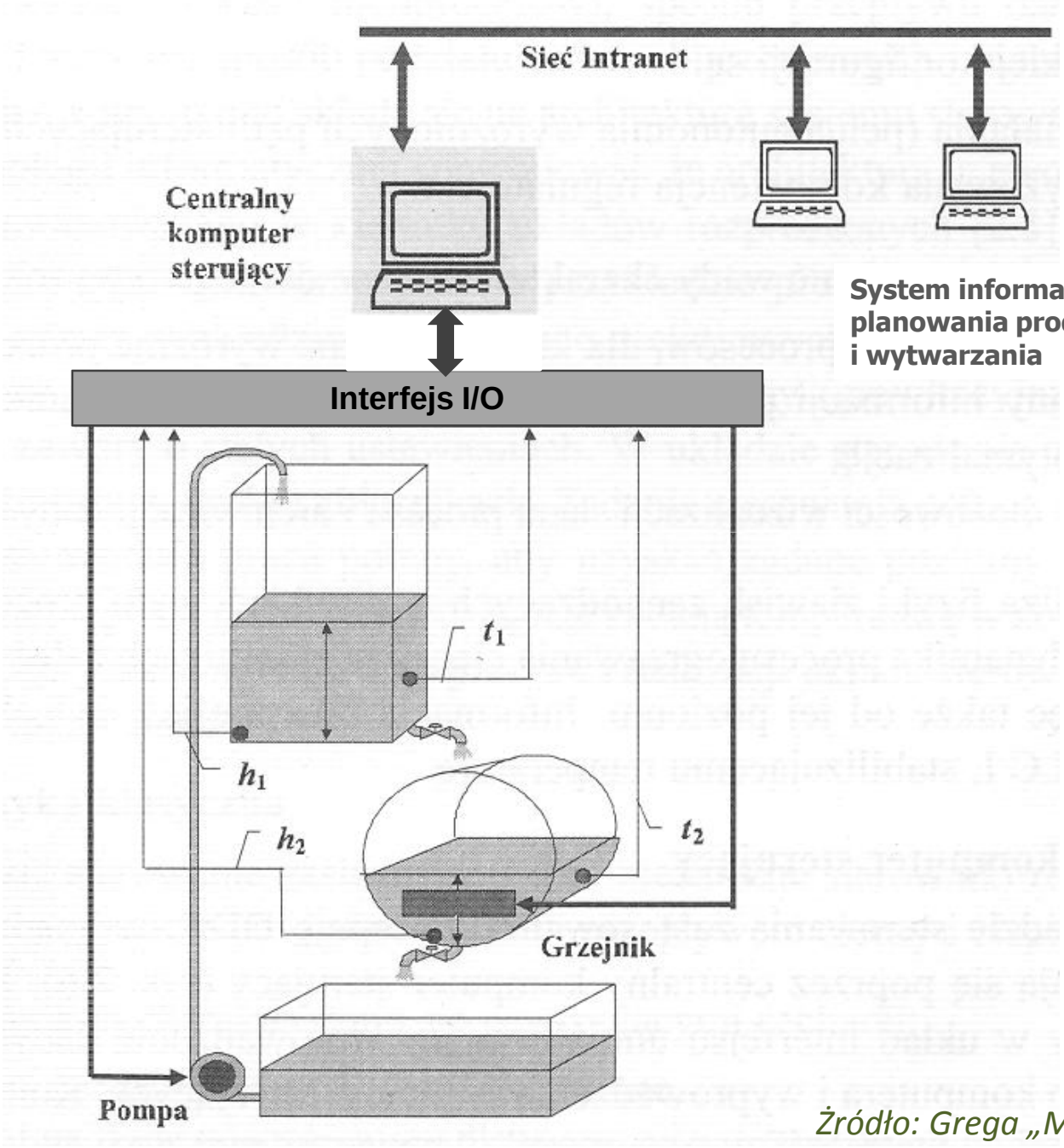
Przykład klasycznej struktury sterowania

Zalety	Wady
• Autonomia pętli sterujących • Precyzyjnie określone zadania układów sterowania (regulatorów)	• Zastosowania dla procesów gdzie można wyróżnić procesy składowe • Brak wymiany informacji pomiędzy układami sterowania • Ograniczone możliwości wizualizacji stanu procesu i archiwizacji danych procesowych

Źródło: Grega „Metody i algorytmy...

© KSS 2015

Przykład scentralizowanej struktury sterowania



© KSS 2015

Źródło: Grega „Metody i algorytmy…

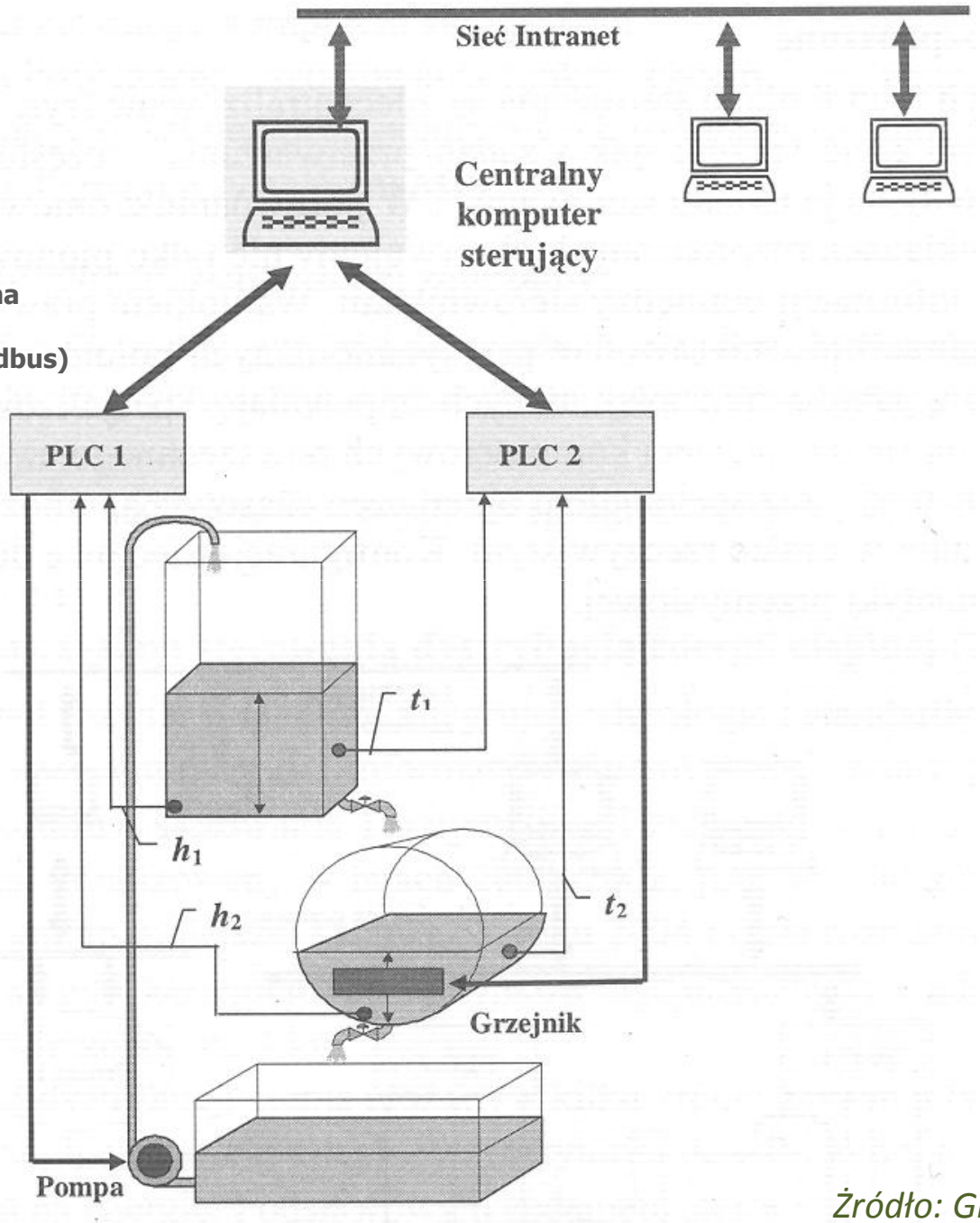
Przykład scentralizowanej struktury sterowania

Zalety	Wady
• Brak barier w przepływie informacji (możliwa wymiana informacji pomiędzy układami sterującymi, możliwa optymalizacja sterownia) • Możliwość wizualizacji stanu procesu i archiwizacji danych procesowych • Moc obliczeniową centralnego komputera umożliwia zainstalowanie systemu SCADA • Możliwość połączenia systemu automatyki z zakładowym systemem informacyjnym planowania produkcji i wytwarzania	• Krytycznym elementem infrastruktury jest komputer centralny • Liczba zadań realizowanych przez komputer centralny wymaga odpowiedniej mocy obliczeniowej oraz rozbudowanego oprogramowania • Relatywnie wysokie koszty utrzymania systemu

Źródło: Grega „Metody i algorytmy...

© KSS 2015

Przykład wielowarstwowej struktury sterowania



© KSS 2015

Źródło: Grega „Metody i algorytmy…

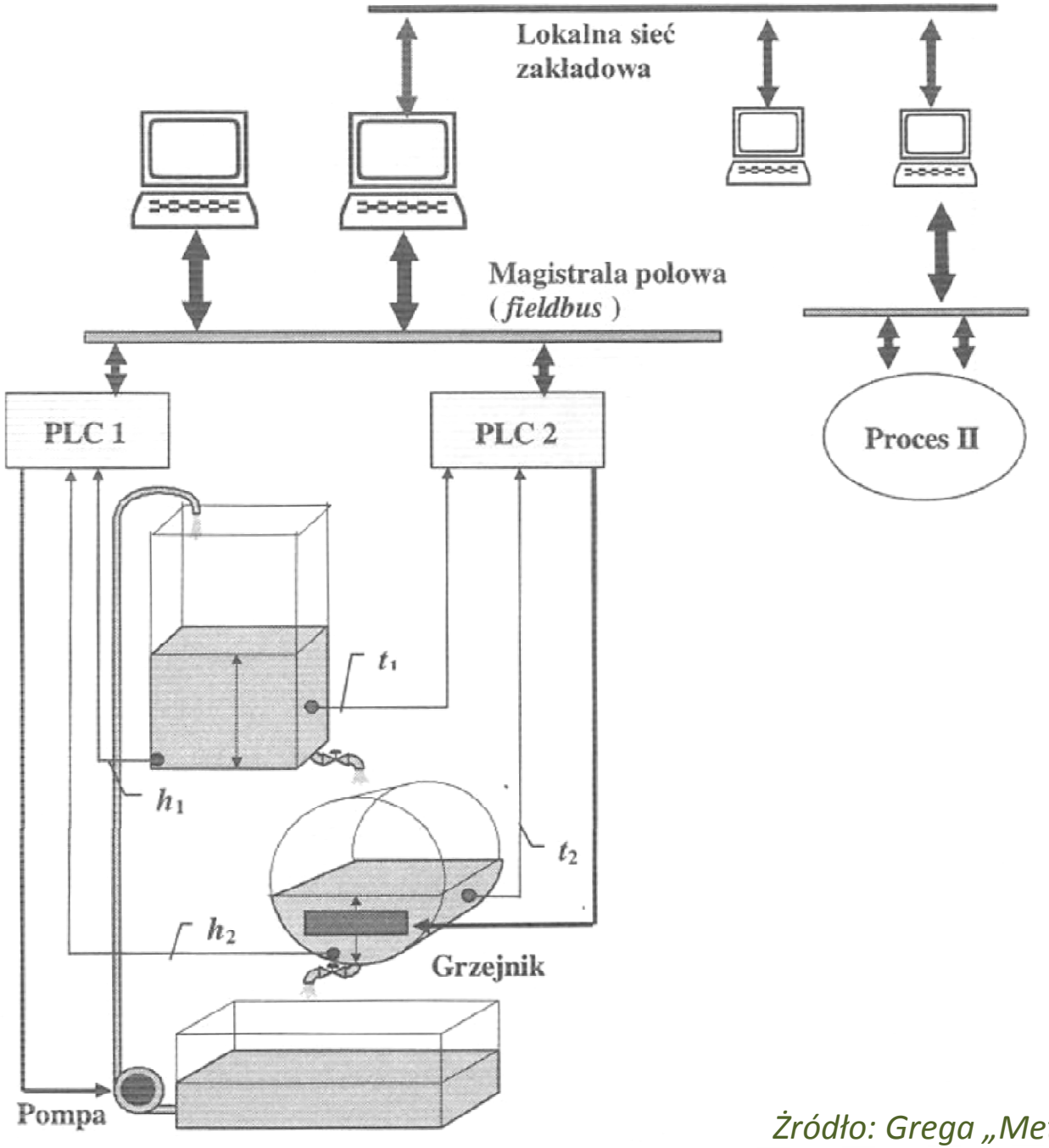
Przykład wielowarstwowej struktury sterowania

Zalety	Wady
• Rozproszony charakter systemu automatyki zwiększa jego pewność działania, ewentualne awarie mają zasięg lokalny • Przetwarzanie danych ma charakter rozproszony • Możliwość wizualizacji stanu procesu i archiwizacji danych procesowych • Centralne zbieranie danych umożliwia optymalizację sterownia • Możliwość zainstalowanie systemu SCADA • Możliwość połączenia systemu automatyki z zakładowym *MES*	• Możliwość występowania opóźnień w transmisji informacji (np. zależne od typu zastosowanej sieci teleinformacyjnej, czy typu procesu - proces rozległy „terytorialnie”) • Brak przepływu informacji pomiędzy sterownikami warstwy sterowania bezpośredniego • Brak możliwości przejęcia funkcji sterujących jednego sterownika w przypadku awarii drugiego

Źródło: Grega „Metody i algorytmy...

© KSS 2015

Przykład rozproszonej struktury sterowania



© KSS 2015

Źródło: Grega „Metody i algorytmy…

Przykład rozproszonej struktury sterowania

Zalety	Wady
• Umożliwia również „poziomy” przepływ informacji pomiędzy układami sterowania (w ramach warstwy sterowania bezpośredniego) • Łatwość tworzenia hierarchicznych, warstwowych struktur sterowania • Ułatwiona obsługa systemu oraz lokalizacja i usuwanie awarii • Rozproszenie funkcji „pomiarowo-sterujących” • Możliwość elastycznego kształtowania funkcji systemu	• Relatywnie wysoki koszt narzędzi konfiguracyjnych • Konieczność stosowania wyspecjalizowanych urządzeń końcowych – interfejsów dostosowujących przesyłane sygnały do standardu magistrali • Opóźnienia (o różnym charakterze) związane z przesyłaniem informacji (zależne od typu zastosowanej sieci, konfiguracji systemu)

Źródło: Grega „Metody i algorytmy...

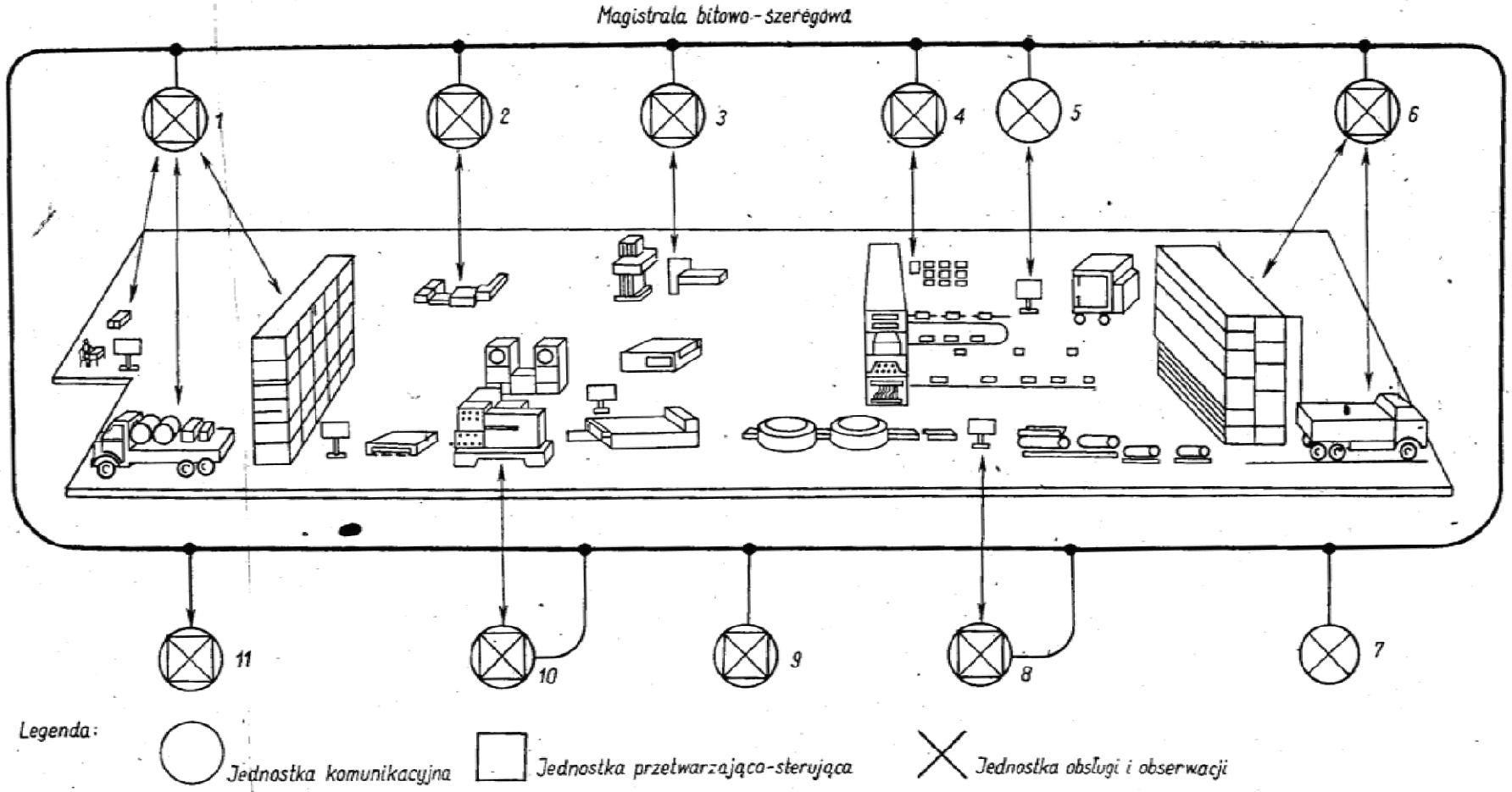
© KSS 2015

Dekompozycja wyjściowego problemu sterowania na prostsze, funkcjonalnie wzajemnie powiązane ze sobą podzadania upraszcza projektowanie, sterowanie i nadzorowanie procesu

Projektuje się układy sterowania dla poszczególnych warstw, które realizują wydzielone cele cząstkowe, a nie jeden układ centralny dla całego procesu

© KSS 2015

Przykład struktury sterowania zdecentralizowanego



Rys. 1.2.6. Sterowanie zdecentralizowane wielokomputerowe: *1* — system komputerowego sterowania magazynu surowców; *2* — system komputerowego sterowania taśmy produkcyjnej; *3* — system komputerowego sterowania maszyny obróbczej; *4* — system komputerowego sterowania przenośników; *5* — system komputerowej kontroli jakości; *6* — system komputerowego sterowania magazynu produktów; *7* — system komputerowy kontroli frekwencji; *8* — system komputerowy równoważenia linii produkcyjnej; *9* — system komputerowy sterowania gospodarki remontowej i konserwacji maszyn; *10* — system komputerowy sterowania gniazda obrabiarek; *11* — nadrzędny komputer do celów zarządzania

© KSS 2015

Źródło: Niderliński „Systemy …

Komputerowe Systemy Sterowania

„złożone” obiekty sterowania

Jakiego rodzaju strukturę sterowania zastosować ?

- *scentralizowaną*
- *czy zdecentralizowaną*

© KSS 2015

Komputerowe Systemy Sterowania

„złożone” obiekty sterowania

Sterowanie scentralizowane:

- trudność zapewnienia odpowiedniego bezpieczeństwa przebiegu procesu sterowanego
- trudność związane z reakcją systemu na zjawiska niekontrolowane i nieprzewidziane (*jednoczesne i szybkie przetwarzanie dużej ilości informacji*)

Można powiedzieć, że trudności tym bardziej widoczne im „złożoność” obiektu sterowania większa

© KSS 2015

Komputerowe Systemy Sterowania

„złożone” obiekty sterowania

Sterowanie zdecentralizowane:

Stosuje się podejście „hierarchiczne”
polega na dekompozycji pierwotnego celu sterowania
na szereg zadań cząstkowych,
mniej złożonych i wzajemnie ze sobą powiązanych,
z których każde związane jest z przetwarzaniem mniejszej ilości
informacji i realizacją na ogół jedynie celu cząstkowego

© KSS 2015

Komputerowe Systemy Sterowania

„złożone” obiekty sterowania

Podstawowe sposoby dekompozycji zadania (celu) sterowania:

- dekompozycja funkcjonalna
- dekompozycja czasowa
- dekompozycja przestrzenna

© KSS 2015

Komputerowe Systemy Sterowania

„złożone” obiekty sterowania

Dekompozycja funkcjonalna:

» wydzielenie szeregu funkcjonalnie różnych cząstkowych celów sterowania wzajemnie ze sobą powiązanych w ramach struktury pionowej (*struktura warstwowa*)

» jednostka decyzyjna związana z każdą z *warstw* podejmuje decyzje odnoszące się do tego samego obiektu ale każda z nich podejmuje decyzje różnego rodzaju

© KSS 2015

Komputerowe Systemy Sterowania

„złożone” obiekty sterowania

Dekompozycja czasowa:

» wydzielenie szeregu podprocesów o różnej dynamice, z procesu głównego, wzajemnie ze sobą powiązanych w ramach struktury pionowej (*struktura warstwowa*)

» jednostka decyzyjna związana z każdą z *warstw* podejmuje decyzje odnoszące się do tego samego obiektu ale każda z nich podejmuje decyzje związane z różnymi podprocesami (dynamika w różnej skali czasu)

© KSS 2015

Komputerowe Systemy Sterowania

„złożone” obiekty sterowania

Dekompozycja przestrzenna:

» jest związana z przestrzenną strukturą złożonego obiektu (w ramach jednej warstwy) i polega na podziale zadania sterowania na mniejsze, lokalne podzadania funkcjonalne tego samego rodzaju ale o np. mniejszej wymiarowości

© KSS 2015

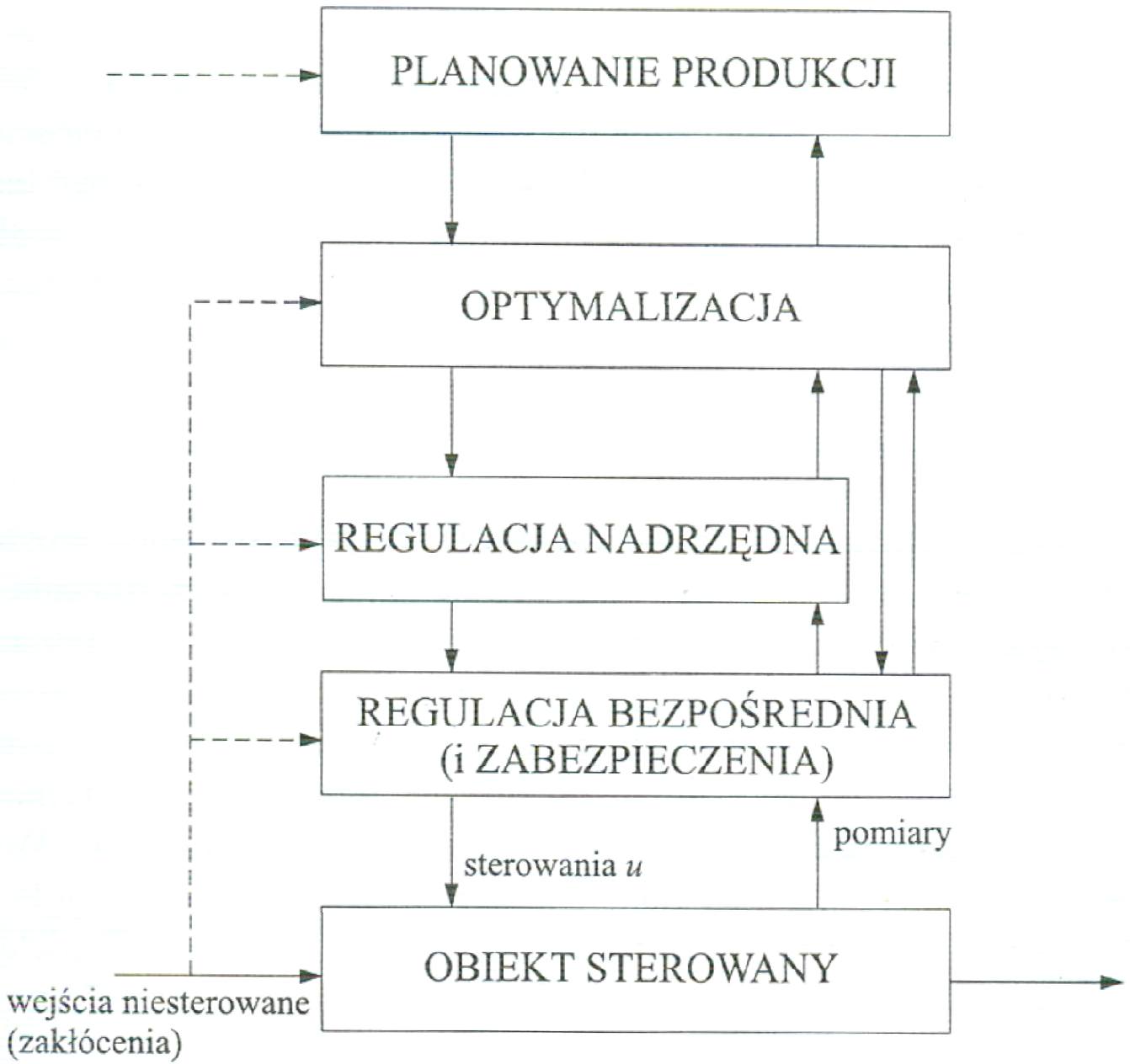
Komputerowe Systemy Sterowania

Typowe szczegółowe podcele (cele cząstkowe) sterowania:

- zapewnienie bezpiecznego przebiegu procesów w obiekcie sterowanym
- zapewnienie odpowiednich cech wyjść obiektu (utrzymanie zmiennych wyjściowych w obszarze wartości dopuszczalnych)
- optymalizacja bieżącej efektywności działania obiektu sterowania (np. maksymalizacja zysków przy minimalizacji kosztów)

© KSS 2015

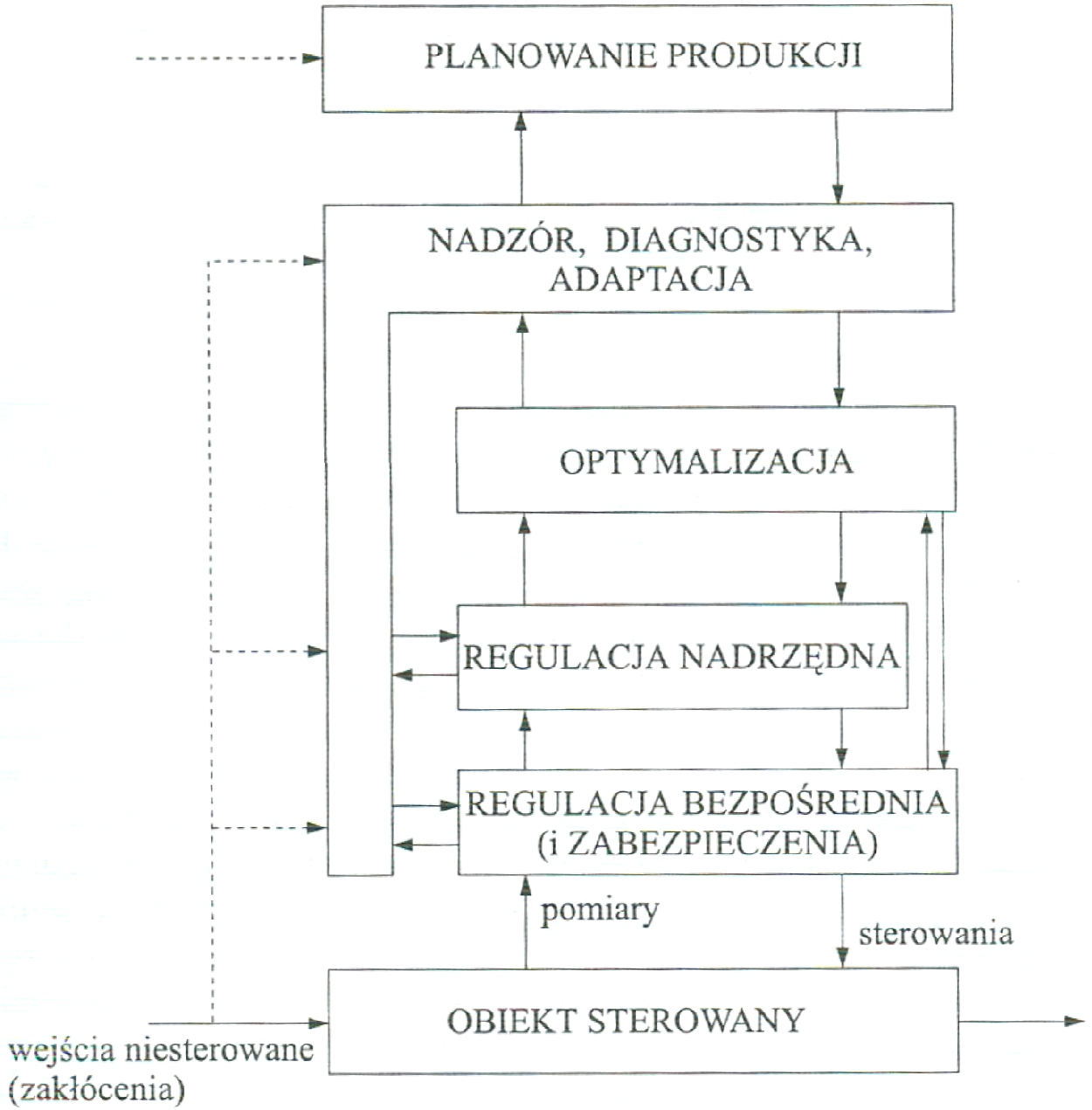
Podstawowa warstwowa struktura sterowania



© KSS 2015

Źródło: P.Tatiewski „Sterowanie…

Podstawowa warstwowa struktura sterowania



© KSS 2015

Źródło: P.Tatiewski „Sterowanie…

Podstawowe zdania i okresy interwencji warstw sterowania

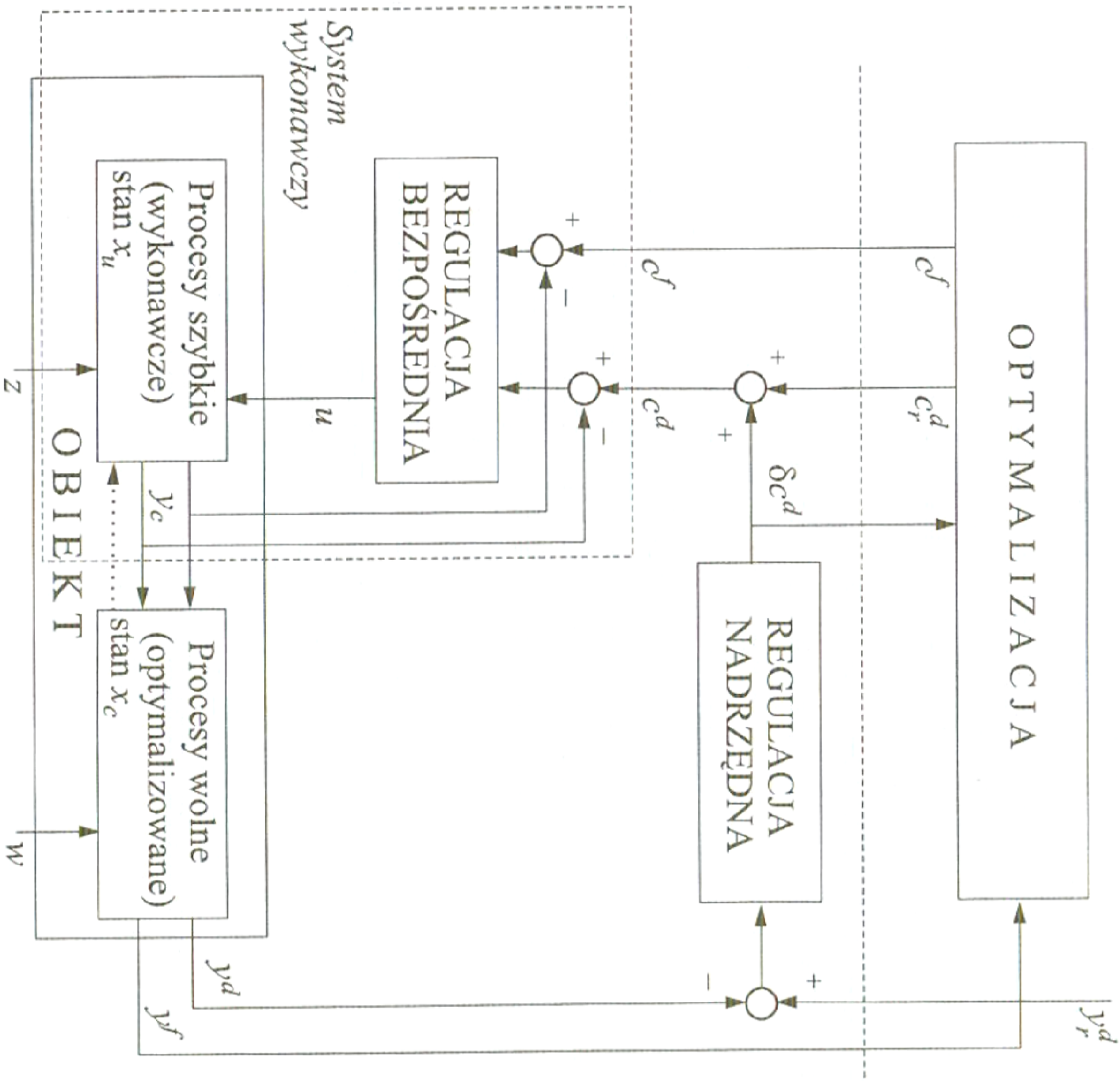
Warstwa	Podstawowe zadanie	Typowy okres interwencji
regulacja bezpośrednia (i zabezpieczenia)	stabilizacja, nadzorowanie procesu	ułamek sekundy
regulacja nadrzędna	sterowanie jakością – zaawansowana regulacja kluczowych zmiennych (często blisko ograniczeń)	minuta
optymalizacja	maksymalizacja bieżących efektów ekonomicznych	godzina
zarządzanie produkcją	maksymalizacja efektów ekonomicznych w dłuższych okresach	doba, kilka dni

© KSS 2015

Źródło: P.Tatiewski „Sterowanie…

© KSS 2015

Przykład struktury warstwowej regulacji i optymalizacji z dekompozycją obiektu sterowanego



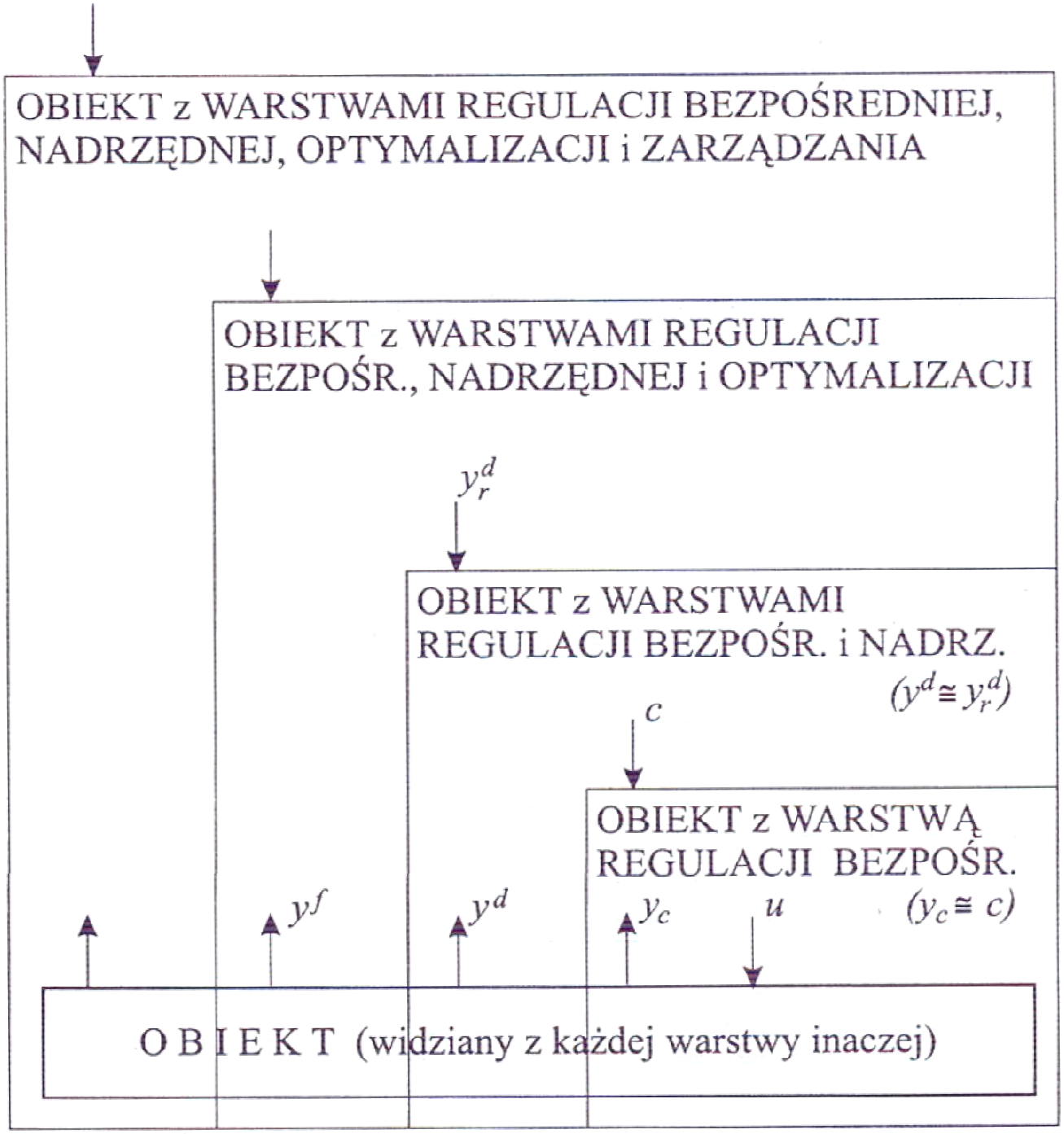
Źródło: P.Tatiewski „Sterowanie…

Cechy modeli procesu sterowanego w poszczególnych warstwach sterowania

Warstwa sterowania	Model
Regulacja bezpośrednia (i zabezpieczenia)	szybki dynamiczny (liniowy, ew. nieliniowy)
Regulacja nadrzędna	wolny dynamiczny (liniowy, nieliniowy)
Optymalizacja	nieliniowy statyczny (ew. dynamiczny)
Zarządzanie produkcją	liniowy bilansowy (statyczny)

Źródło: P.Tatiewski „Sterowanie…

© KSS 2015


OBIEKT z WARSTWAMI REGULACJI BEZPOŚREDNIEJ, NADRZĘDNEJ, OPTYMALIZACJI i ZARZĄDZANIA
OBIEKT z WARSTWAMI REGULACJI BEZPOŚR., NADRZĘDNEJ i OPTYMALIZACJI
y_r^d
OBIEKT z WARSTWAMI REGULACJI BEZPOŚR. i NADRZ.
$(y^d \cong y_r^d)$
c
OBIEKT z WARSTWĄ REGULACJI BEZPOŚR.
y^f
y^d
y_c
u
$(y_c \cong c)$
O B I E K T (widziany z każdej warstwy inaczej)

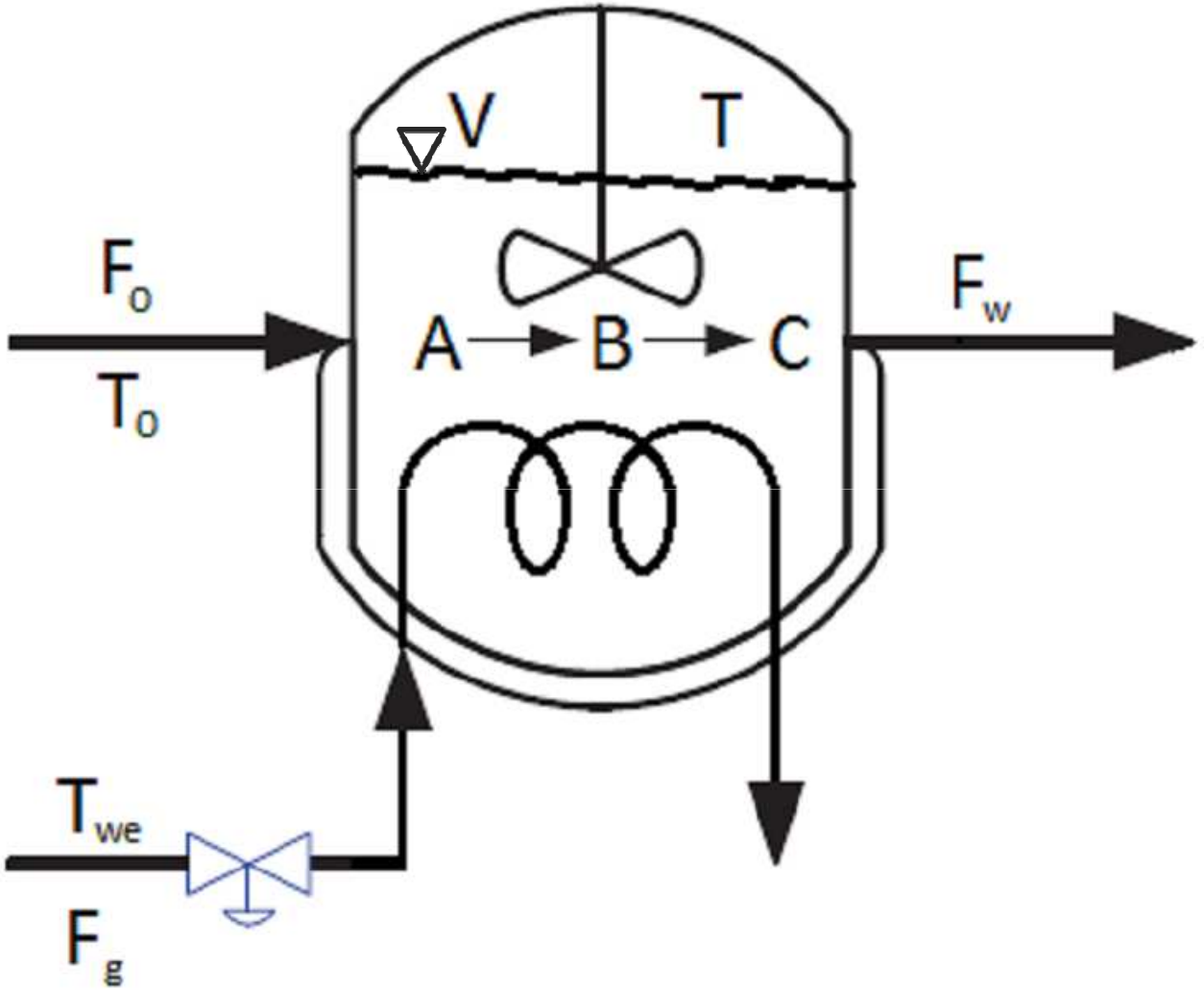
© KSS 2015

Przykład 1:

- warstwowa struktura sterowania w przemyśle chemicznym

© KSS 2015

Układ reaktora przepływowego z idealnym wymieszaniem



Źródło: J. Liu (2011). Networked ..

© KSS 2015

Równania reaktora przepływowego

$$\frac{dV}{dt} = F_0 - F_w$$

$$\frac{dVC_A}{dt} = F_0 * C_{A0} - F_w * C_A - V * k_1 * e^{\frac{-E_1}{R*T}} * C_A$$

$$\frac{dVC_B}{dt} = F_0 * C_{B0} - F_w * C_B + V * k_1 * e^{\frac{-E_1}{R*T}} * C_A - V * k_2 * e^{\frac{-E_2}{R*T}} * C_B$$

$$\frac{dVC_C}{dt} = F_0 * C_{C0} - F_w * C_C + V * k_2 * e^{\frac{-E_2}{R*T}} * C_B$$

$$\frac{dVT}{dt} = F_0 * T_0 - F_w * T - \frac{\Delta H_1 * \left(V * k_1 * e^{\frac{-E_1}{R*T}} * C_A\right)}{\rho * C_p} - \frac{\Delta H_2 * \left(V * k_2 * e^{\frac{-E_2}{R*T}} * C_B\right)}{\rho * C_p} + \frac{H}{\rho * C_p}$$

$$H = \frac{a * F_g^{\,b+1}}{F_g + \frac{a * F_g^{\,b}}{2 * C_g}} * \left(T_{we} - T\right)$$

© KSS 2015

Źródło: J. Liu (2011). Networked ..

Równania reaktora przepływowego

H – ilość dostarczanego ciepła

V – objętość cieczy w zbiorniku

T – temperatura cieczy w zbiorniku

T_g – średnia z temperatur medium grzewczego

C_A – stężenie substratu A, C_B – stężenie substratu B, C_C – stężenie substratu C

F_0 – natężenie dopływu

F_w – natężenie wypływu

F_g – natężenie dopływu cieczy grzewczej

a, b – współczynniki zależne od konstrukcji wymiennika ciepła

c_w – ciepło właściwe cieczy w zbiorniku

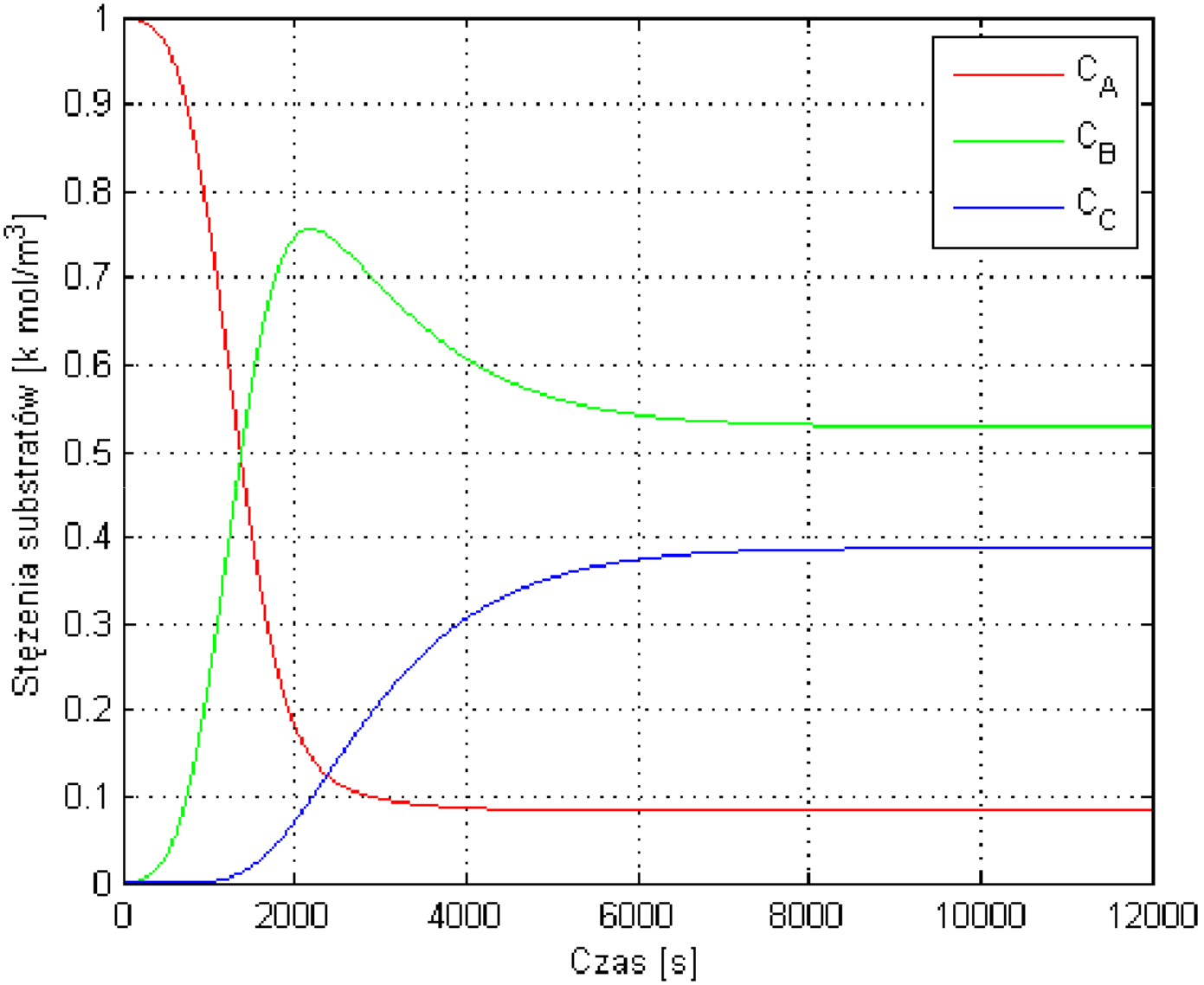
c_g – ciepło właściwe medium wykorzystanego jako ciecz grzewcza

© KSS 2015

Wartości podstawowych parametrów

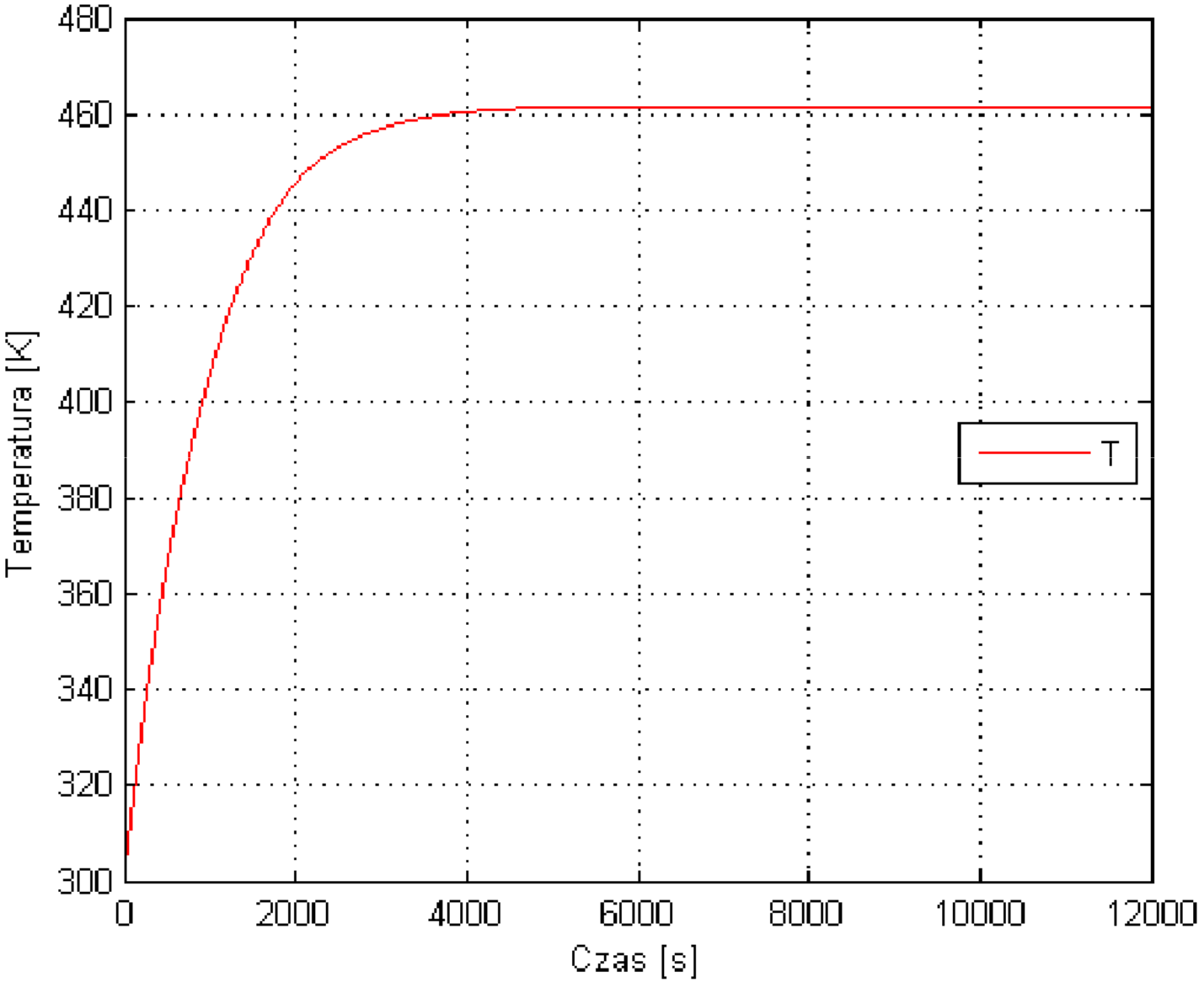
L.p.	Symbol	Wartość	Jednostka	Nazwa
1	C_{A0}	1	$kmol/m^3$	Początkowe stężenie substratu A
2	C_{B0}	0	$kmol/m^3$	Początkowe stężenie substratu B
3	C_{C0}	0	$kmol/m^3$	Początkowe stężenie substratu C
4	T_0	300	K	Początkowa temperatura w reaktorze
5	V_0	2.7	m^3	Objętość początkowa
6	k_1	3.575e+08	s^{-1}	Współczynnik szybkości reakcji A -> B
7	k_2	2.7619e+06	s^{-1}	Współczynnik szybkości reakcji B -> C
8	E_1	8.1131e+04	kJ/kmol	Energia aktywacji reakcji A -> B
9	E_2	7.1168e+04	kJ/kmol	Energia aktywacji reakcji B -> C
10	R	8.314	kJ/kmol*K	Stała gazowa
11	C_p	4.2	kJ/kg*K	Ciepło właściwe substancji A, B, C
12	C_g	2.38	kJ/kg*K	Ciepło właściwe cieczy grzewczej
13	ρ	1000	kg/m^3	Gęstość
14	ρ_g	1038	kg/m^3	Gęstość medium grzewczego
15	a	4.5e+02	-	Współczynniki konstrukcyjne wymiennika ciepła
16	b	1	-	
17	c	2	-	
18	T_{we}	550	K	Temperatura wejściowa czynnika grzewczego
19	ΔH_1	-4200	kJ/kmol	Ciepło reakcji A -> B
20	ΔH_2	-11000	kJ/kmol	Ciepło reakcji B -> C

Dynamika zmian stężenia substratów w reaktorze



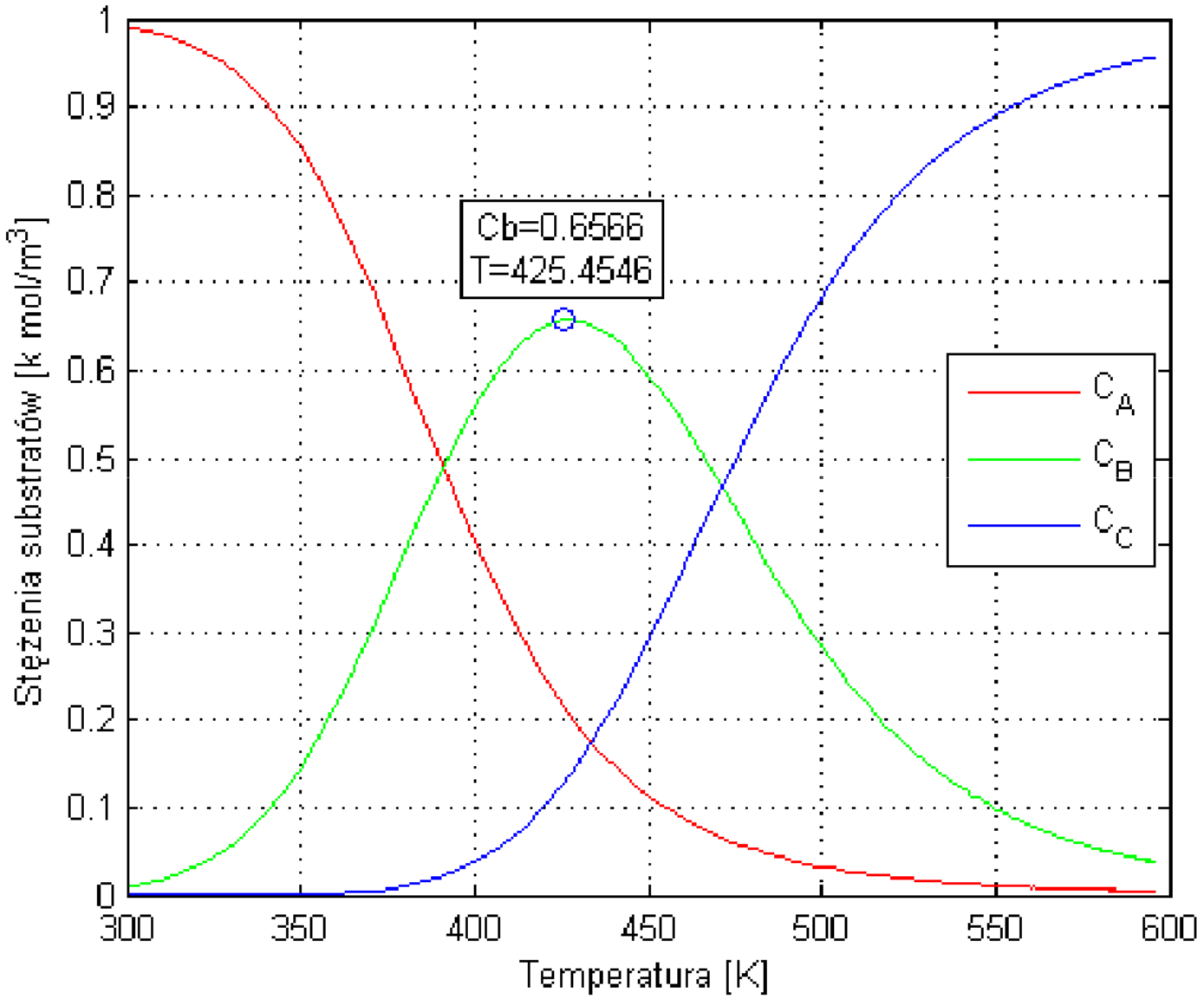
© KSS 2015

Dynamika zmian temperatury w reaktorze



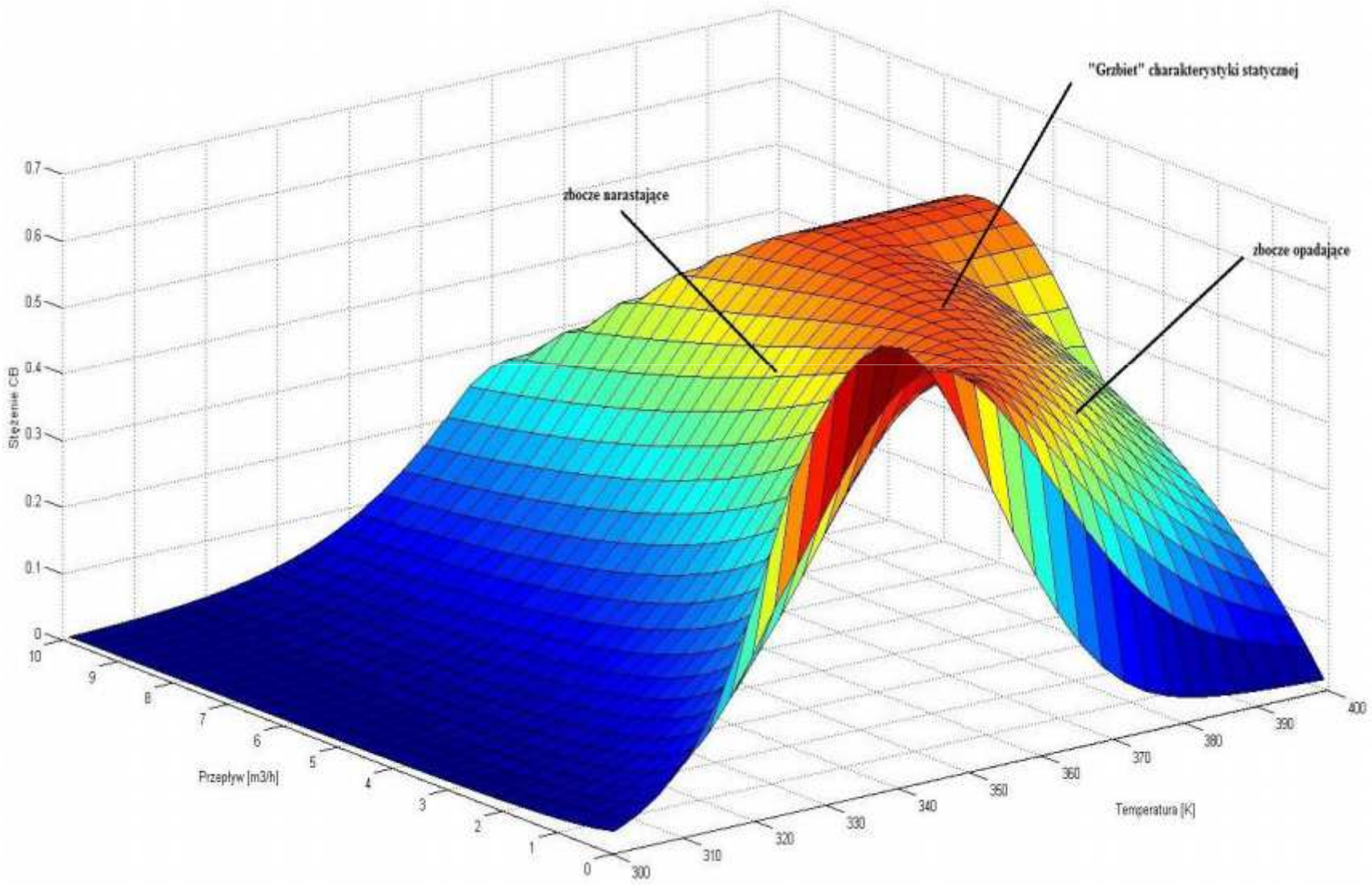
© KSS 2015

Charakterystyka statyczna stężeń substratów w zależności od temperatury



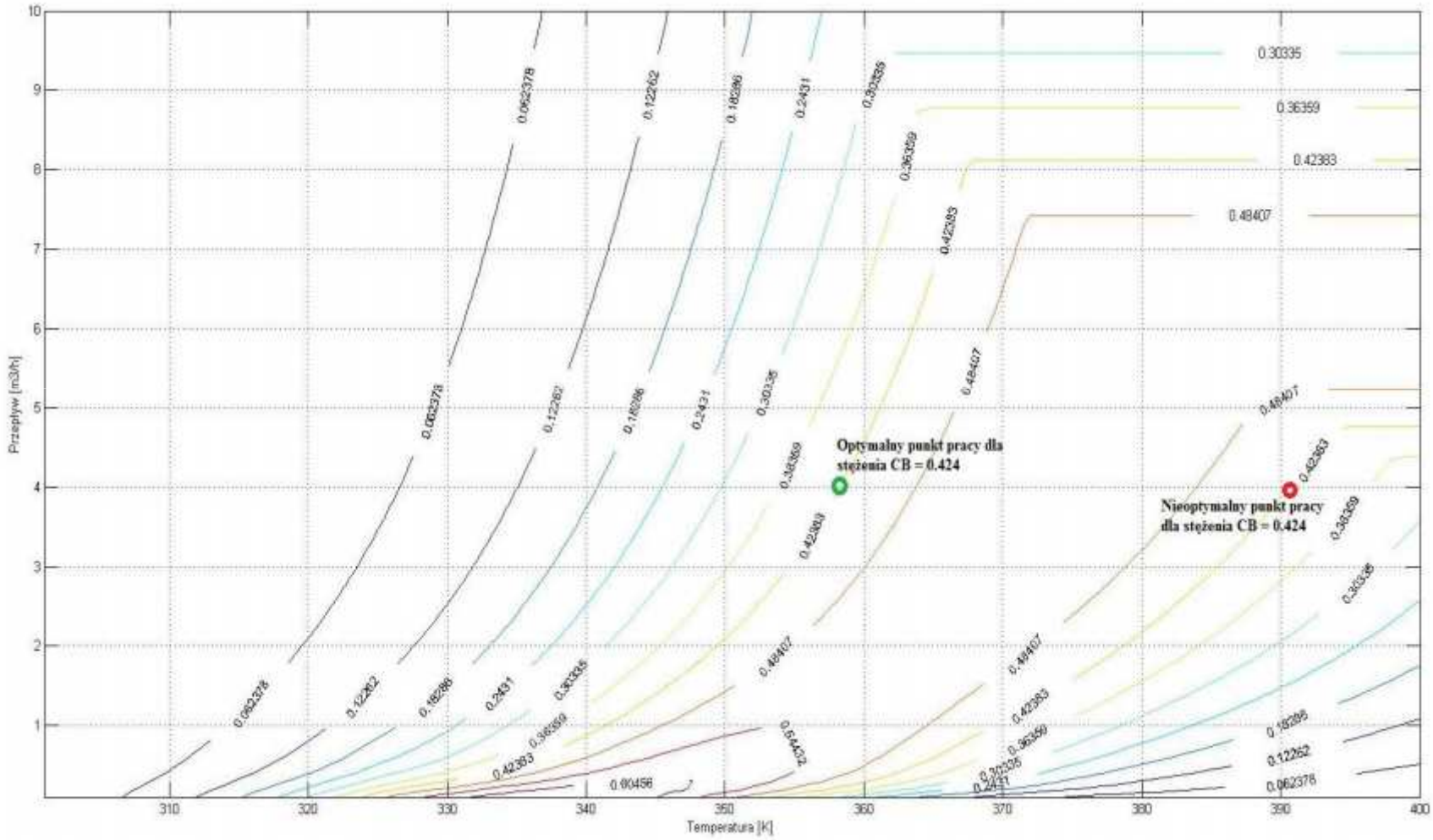
© KSS 2015

Charakterystyka statyczna stężenia Cb w zależności od temperatury i przepływu medium zasilającego zbiornik z widocznym „grzbietem” wyznaczającym stężenia maksymalne oraz zboczem optymalnym narastającym



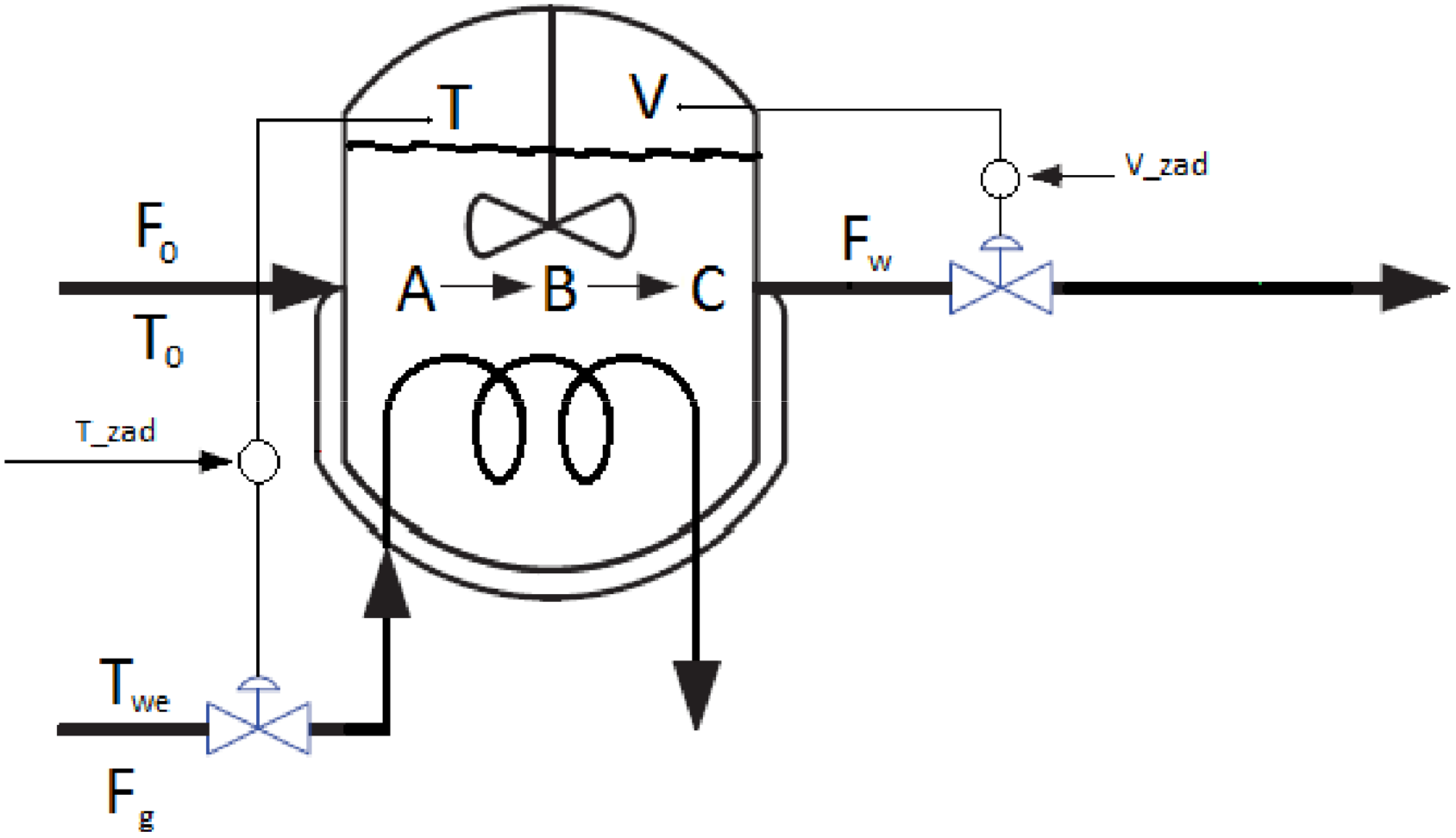
© KSS 2015

Izolinie charakterystyki statycznej stężenia Cb w zależności od temperatury i przepływu medium zasilającego zbiornik z zaznaczonymi przykładowymi punktami pracy



© KSS 2015

Reaktor z układami sterowania bezpośredniego poziomem i temperaturą



© KSS 2015

Komputerowe Systemy Sterowania

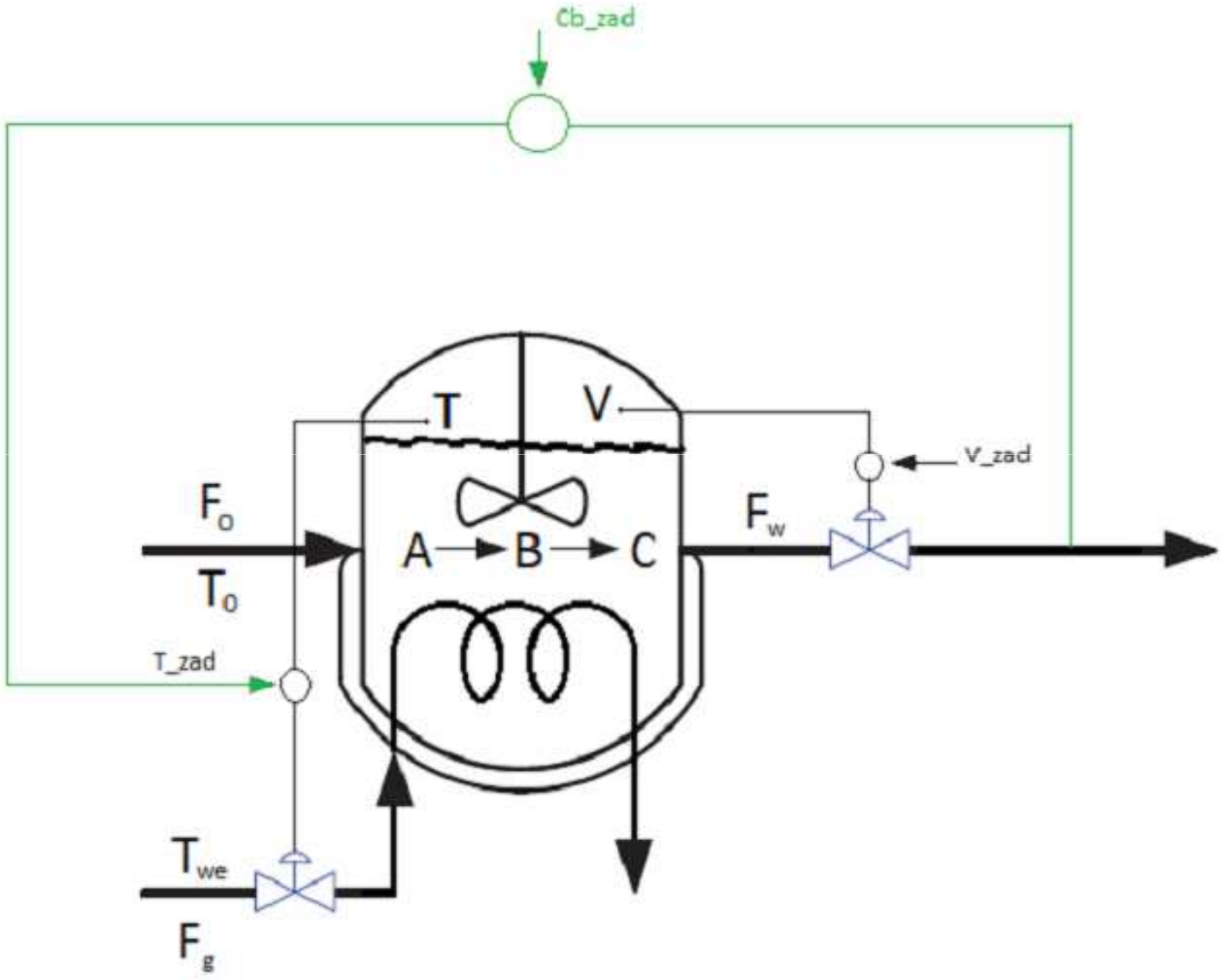
Charakterystyka zastosowanego rozwiązania:

- pętle sterujące są strukturalnie odseparowane
- układy sterujące poziomem i temperaturą są ulokowane w **bezpośredniej warstwie sterowania** (bezpośredni dostęp do obiektu – możliwość bezpośredniego wpływania na wielkości wejściowe sterujące)
- duża częstotliwość interwencji (mały okres próbkowania)

Czy wymiana informacji pomiędzy układami sterującymi poziomem i temperaturą o sterowaniu realizowanym przez te układy może się przełożyć na „jakość/efektywność" zastosowanego rozwiązania?

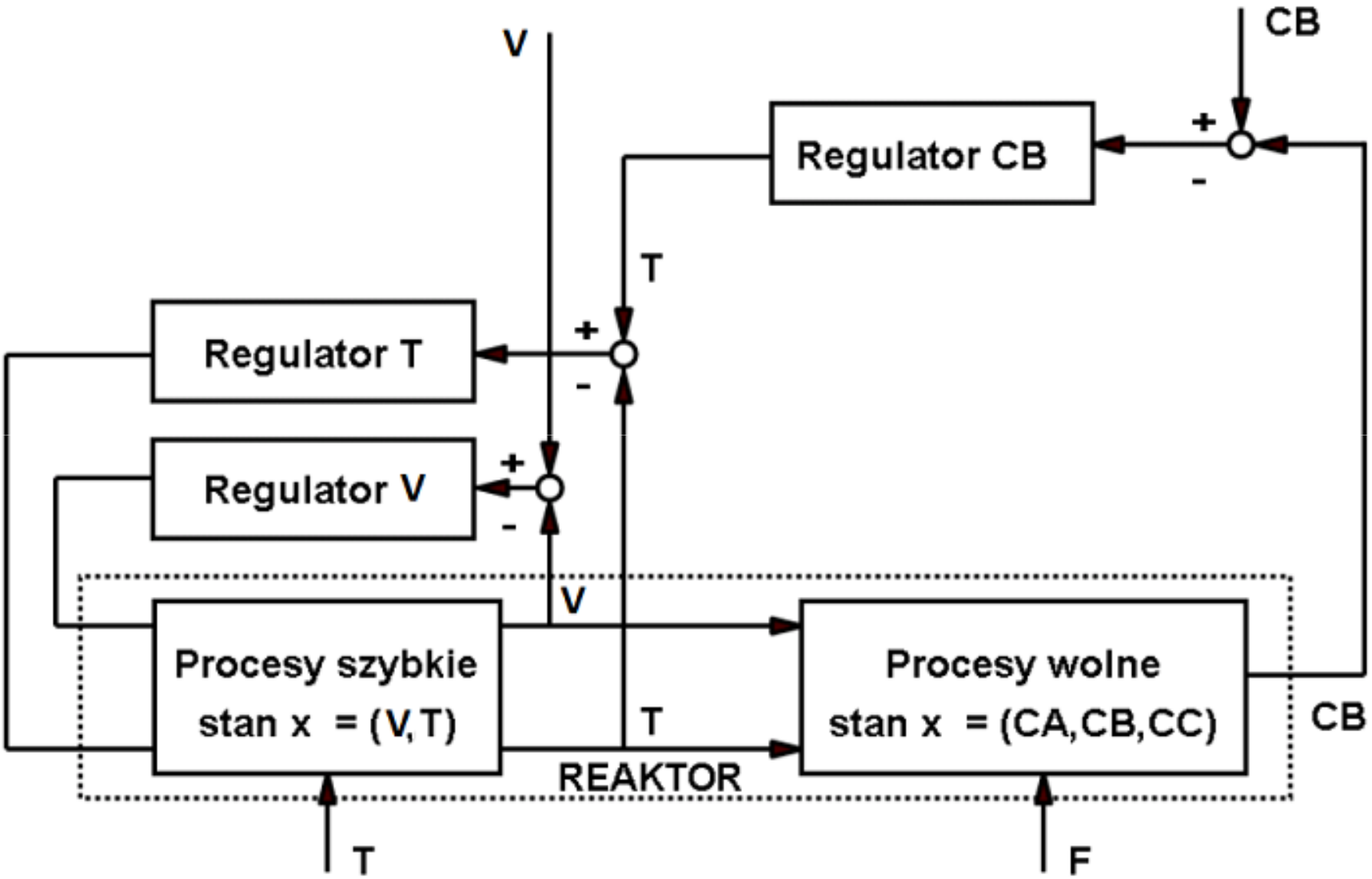
© KSS 2015

Reaktor z układami sterowania bezpośredniego poziomem i temperaturą oraz sterowania nadrzędnego realizującego stabilizację stężenia C_b



© KSS 2015

Zdekomponowany opis blokowy struktury sterowania reaktora realizującego stabilizację stężenia C_B



Źródło: P.Tatiewski „Sterowanie…

Charakterystyka zastosowanego rozwiązania:

- aby właściwie zaprojektować **warstwę nadrzędną** to układy sterujące poziomem i temperaturą ulokowane w bezpośredniej warstwie sterowania powinny „dobrze” funkcjonować
- w trakcie projektowania można posłużyć się modelem prostszym niż model dynamiki całego układu
- wolna dynamika zmian stężenia C_B substancji B
- czas pomiaru stężenia C_B substancji B znacznie dłuższy od okresu próbkowania układów sterujących poziomem i temperaturą
- układ regulacji kaskadowej

© KSS 2015

Zadanie optymalizacji dynamicznej

$$\min\{\ J(c,y) = \int_{t_0}^{t_k} Q(c(t),y(t))dt\ \}$$

$$\text{z ogr.}: \quad dx_c(t)/dt = f_c(x_c(t), c(t), w(t))$$

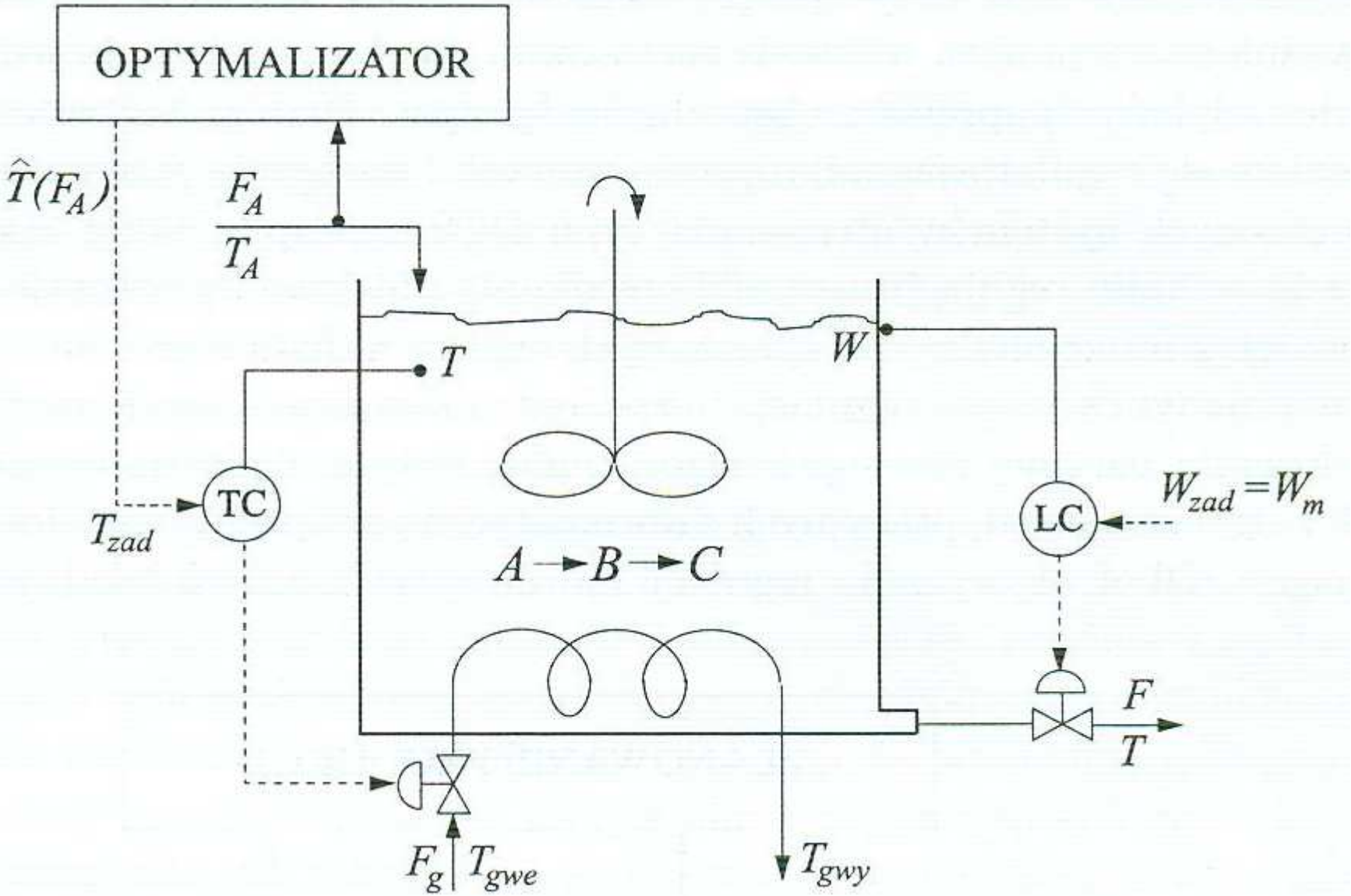
$$y(t) = g_c(x_c(t), c(t))$$

$$c \in C,\ y \in Y$$

© KSS 2015

Źródło: P.Tatiewski „Sterowanie…

Warstwowa struktura sterowania reaktora realizująca bieżącą optymalizację punktu pracy



© KSS 2015

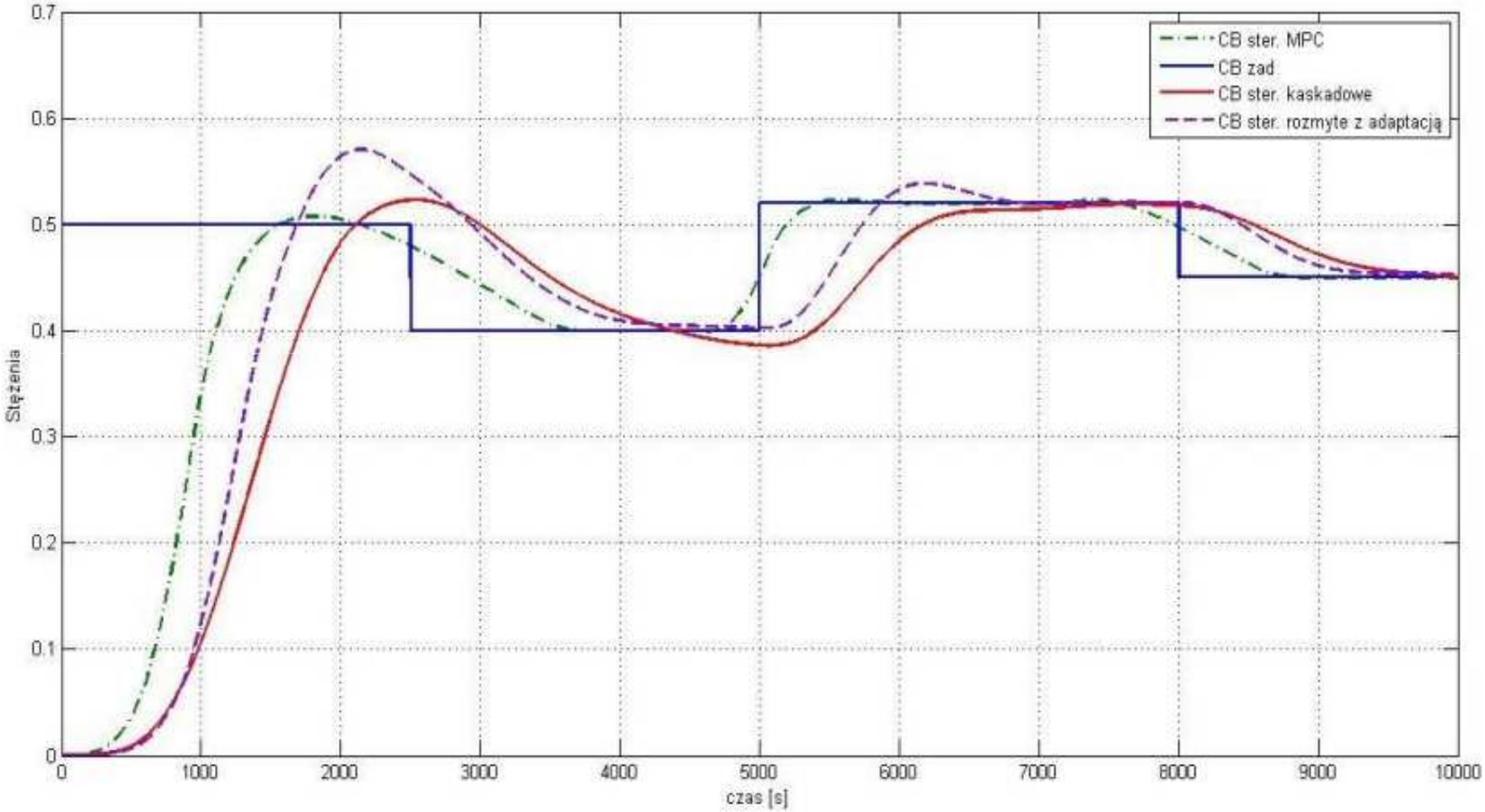
Źródło: P.Tatiewski „Sterowanie…

Charakterystyka zastosowanego rozwiązania:

- możliwość wykorzystania modelu procesu do „optymalnego” kontrolowania wolno zmiennego stężenia CB substancji B
- właściwe sformułowanie zadania optymalizacji
- odpowiednie algorytmy optymalizacji
- odpowiednie zasoby obliczeniowe

© KSS 2015

Przebieg stężeń CB dla wybranych struktur sterowania

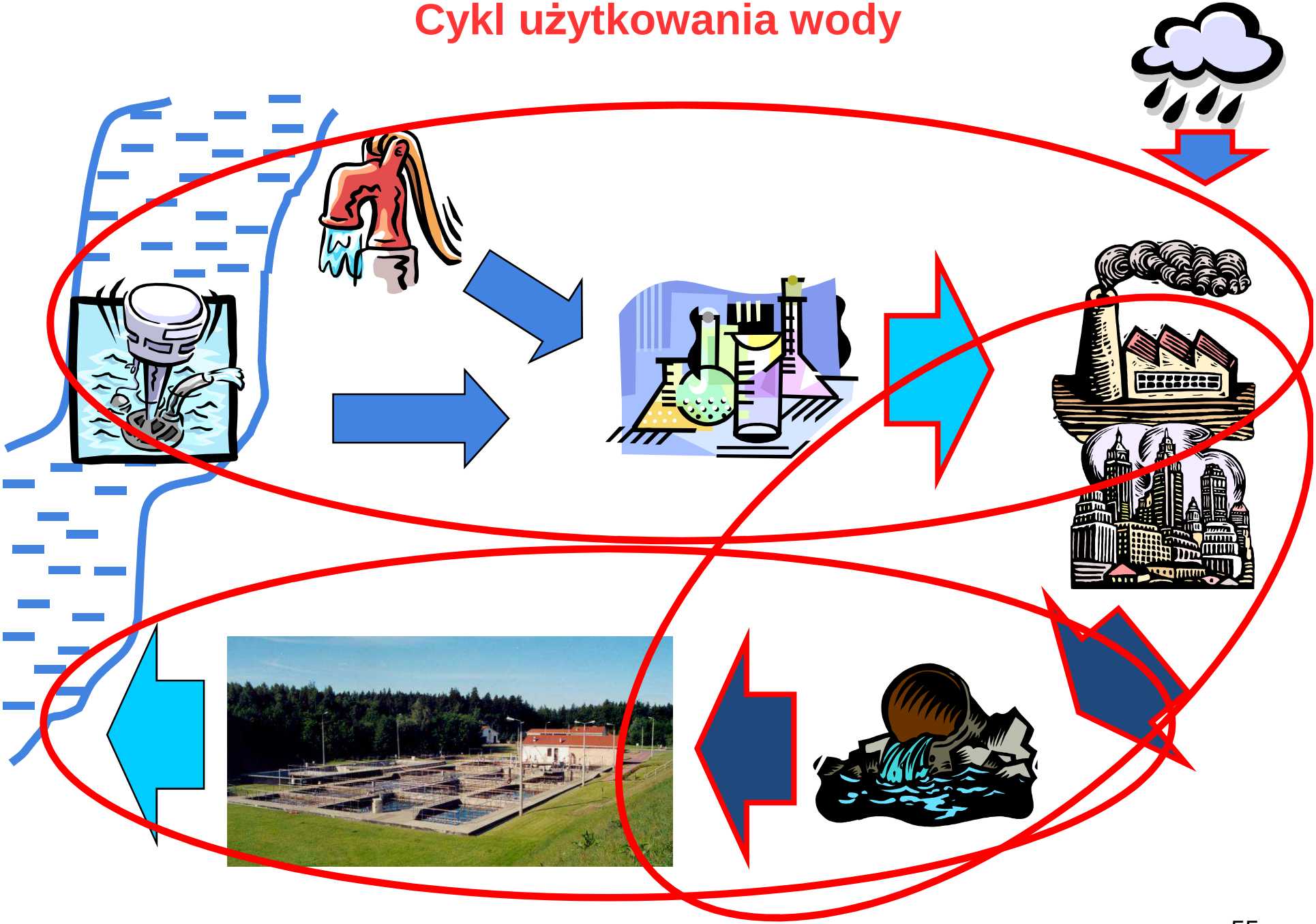


© KSS 2015

Przykłady realizacji warstwowych struktur sterowania w systemach środowiskowych

© KSS 2015

Cykl użytkowania wody



Przykład 2:

- system produkcji i dystrybucji wody pitnej

© KSS 2015

Uzdatnianie i dezynfekcja wody pitnej

Uzdatnianie wody

CEL: ***usunięcie z wody zanieczyszczeń stałych oraz rozpuszczonych związków chemicznych***

METODY:

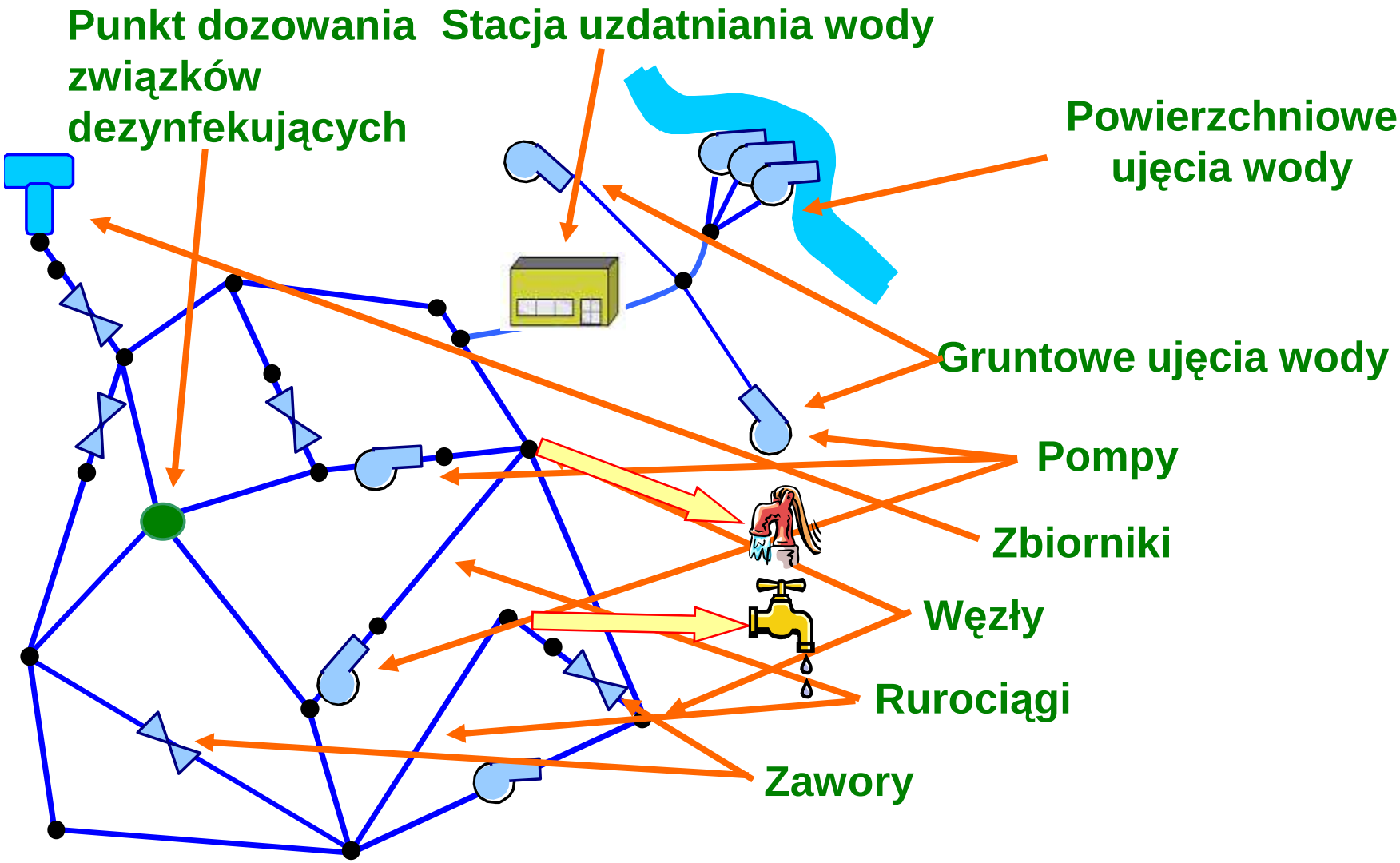
areacja, cedzenie, koagulacja, sedymentacje, dekantacje, utlenianie, filtracja.

Dezynfekcja wody

CEL: ***usunięcie z wody drobnoustrojów chorobotwórczych***

METODY: chlorowanie, dodawanie nadmanganianu potasu, ozonowanie

Elementy rzeczywistego systemu produkcji i dystrybucji wody pitnej



Przykładowa struktura sterowania systemem produkcji i dystrybucji wody pitnej

Sterowanie Optymalizujące

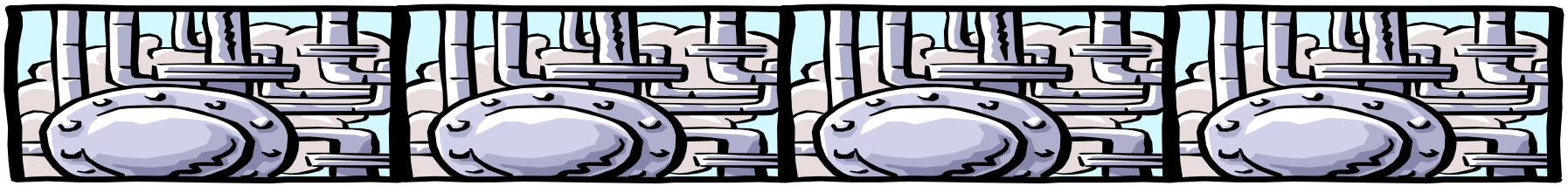
WEJŚCIA:
- Taryfa elektryczna,
- Prognoza zapotrzebowania,
- Monitorowanie ilości i jakości wody

WYJŚCIA:
- Zoptymalizowany harmonogram pracy pomp,
- Zoptymalizowany harmonogram pracy zaworów,
- Zoptymalizowane dozowanie chloru

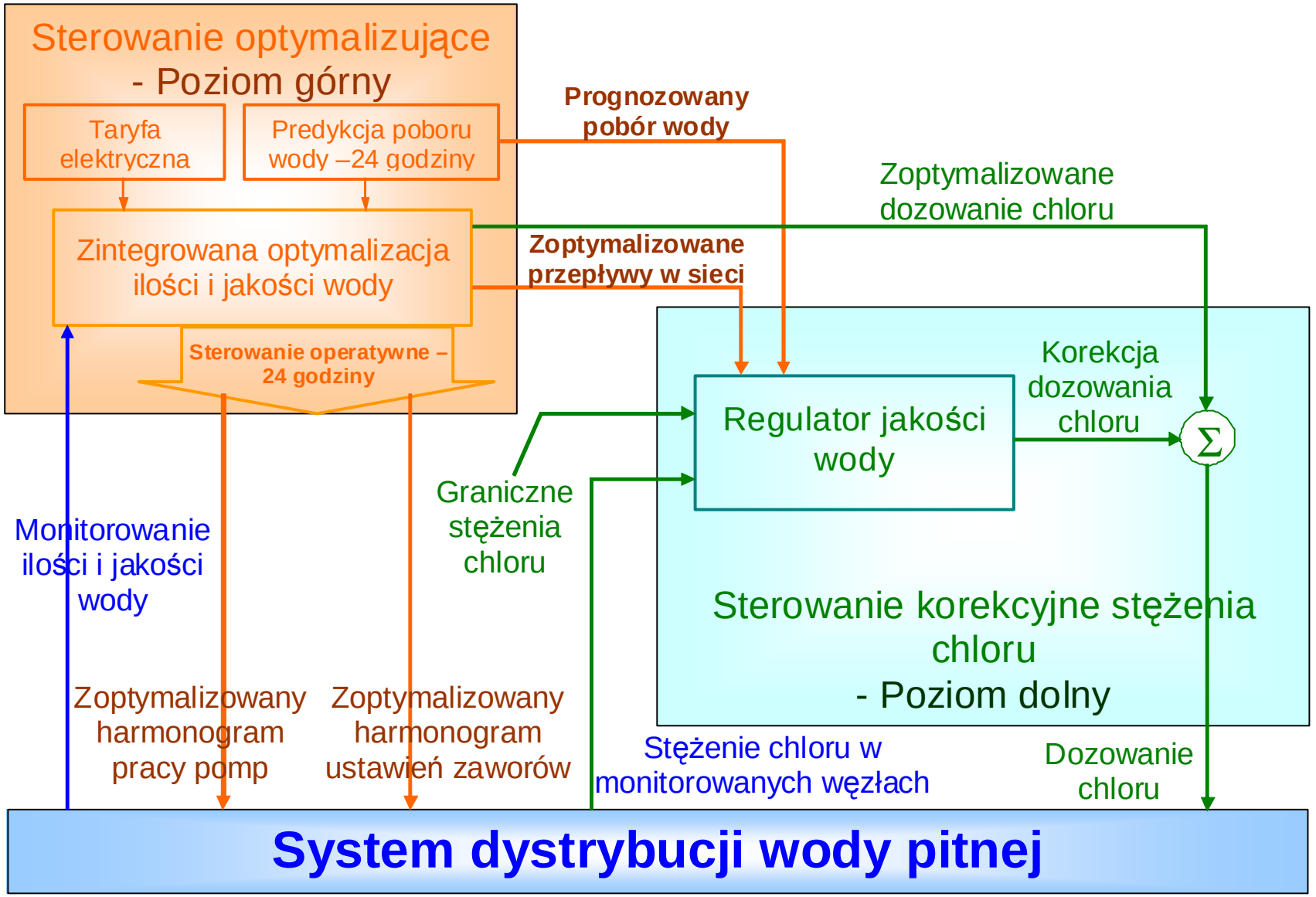
Sterowanie Korekcyjne

WEJŚCIA:
- Zoptymalizowany harmonogram pracy pomp,
- Zoptymalizowany harmonogram pracy zaworów,
- Zoptymalizowane dozowanie chloru,
- Stężenie chloru w monitorowanych węzłach,

WYJŚCIA:
- Skorygowane dozowanie chloru



Przykładowa struktura sterowania systemem produkcji i dystrybucji wody pitnej



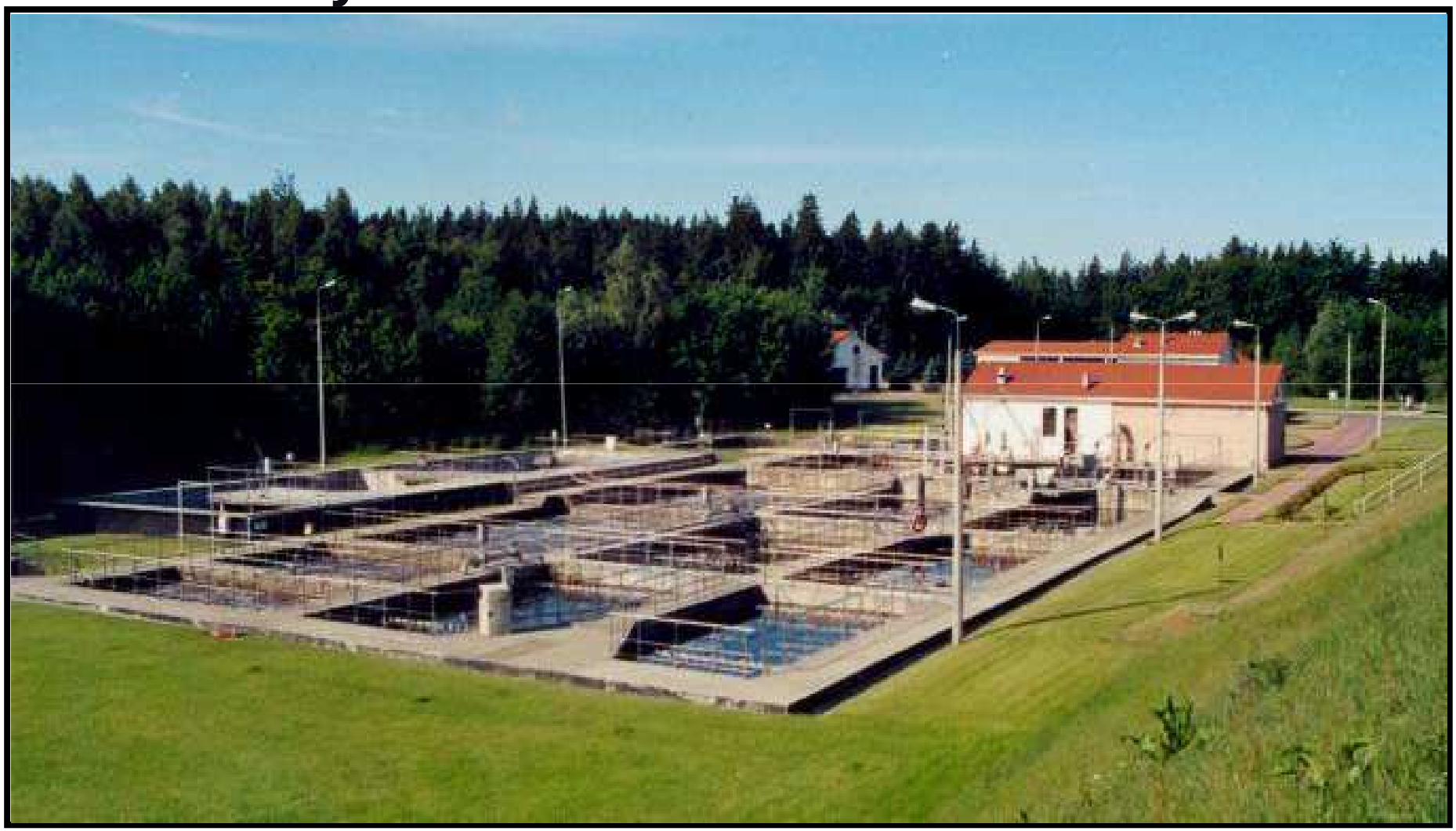
Przykład 3:

- system oczyszczania ścieków bytowo gospodarczych

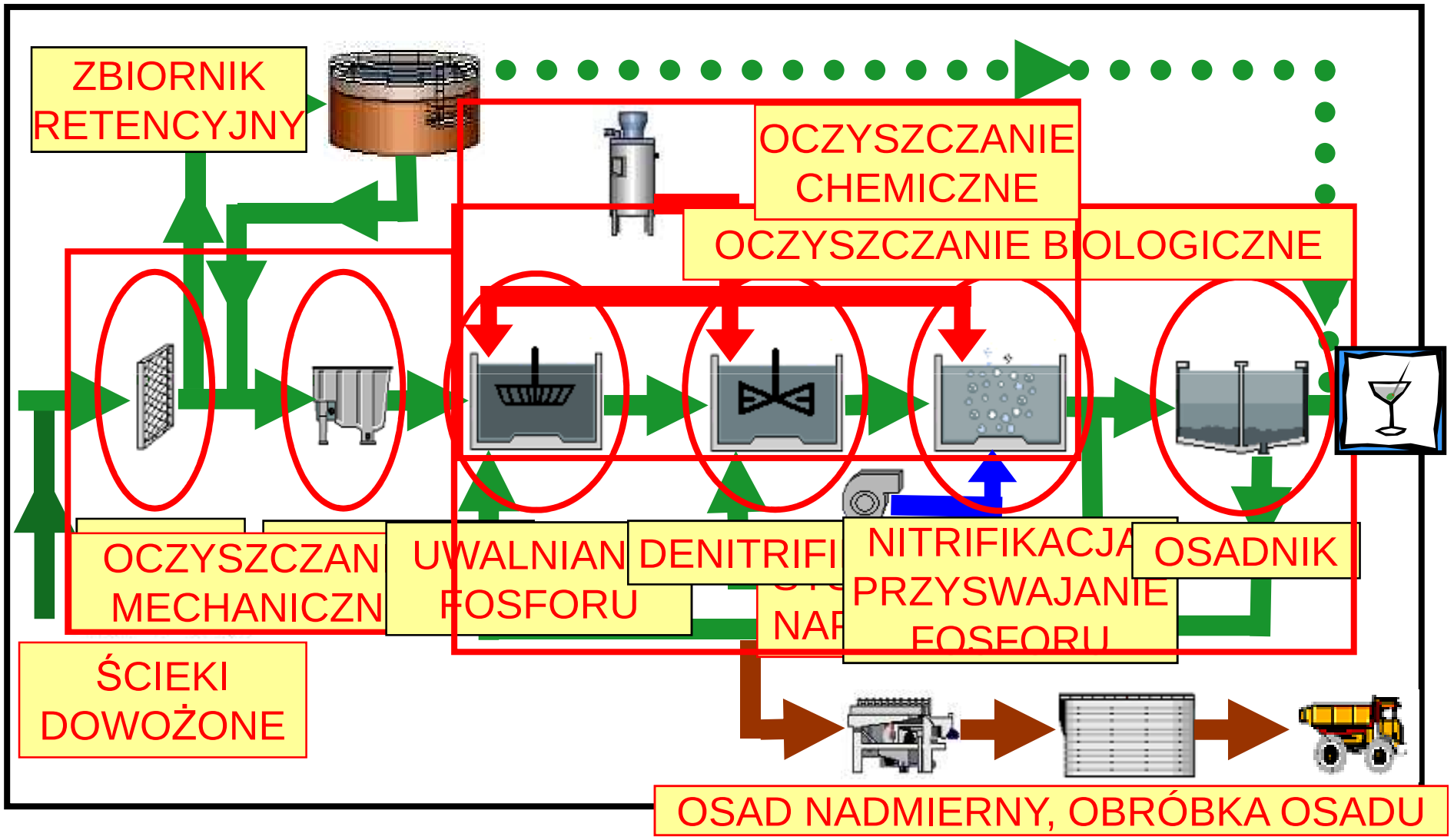
© KSS 2015

OBIEKT STEROWANIA

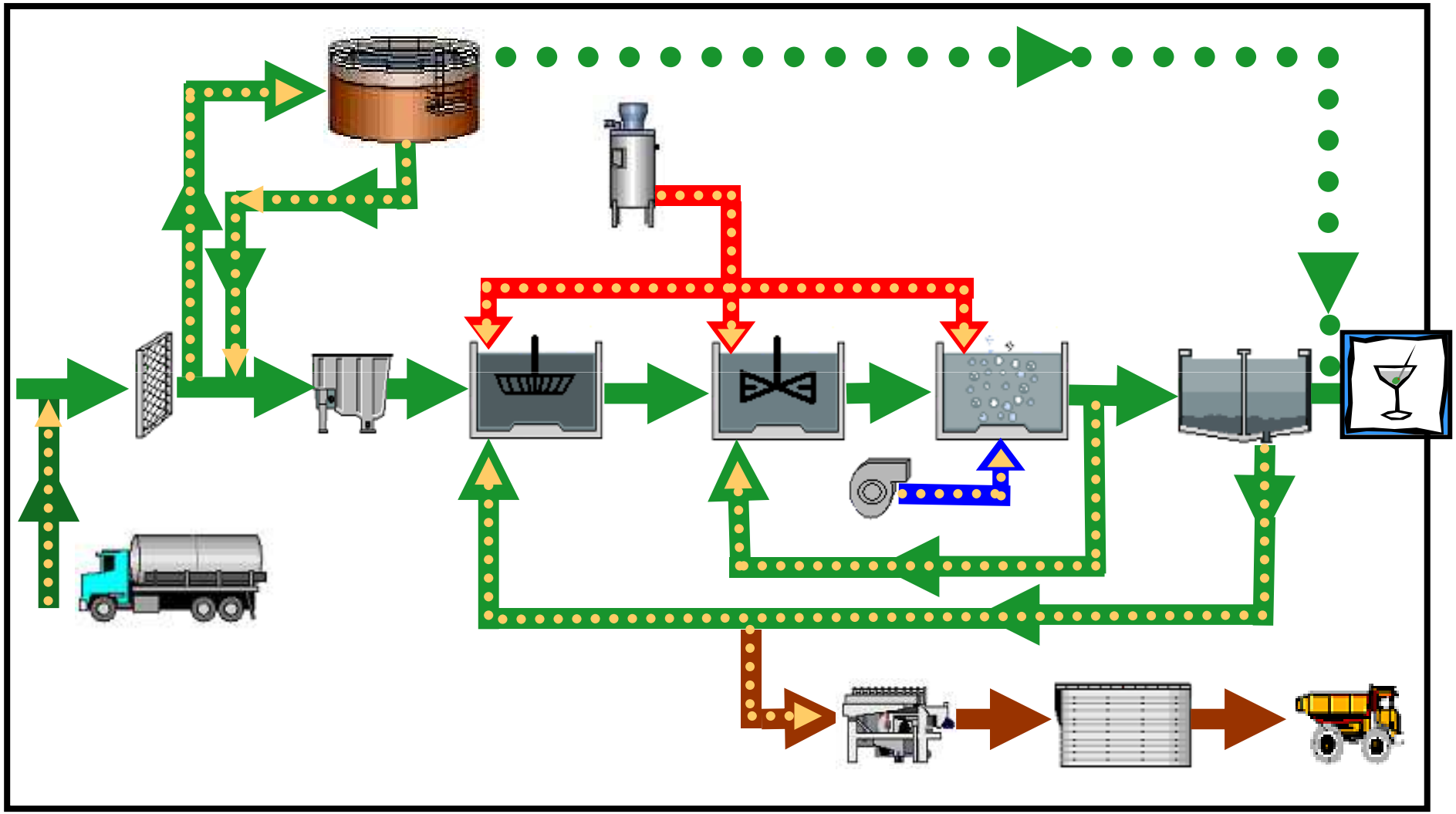
Oczyszczalnia ścieków w Kartuzach



Struktura typowej oczyszczalni



Sterowanie



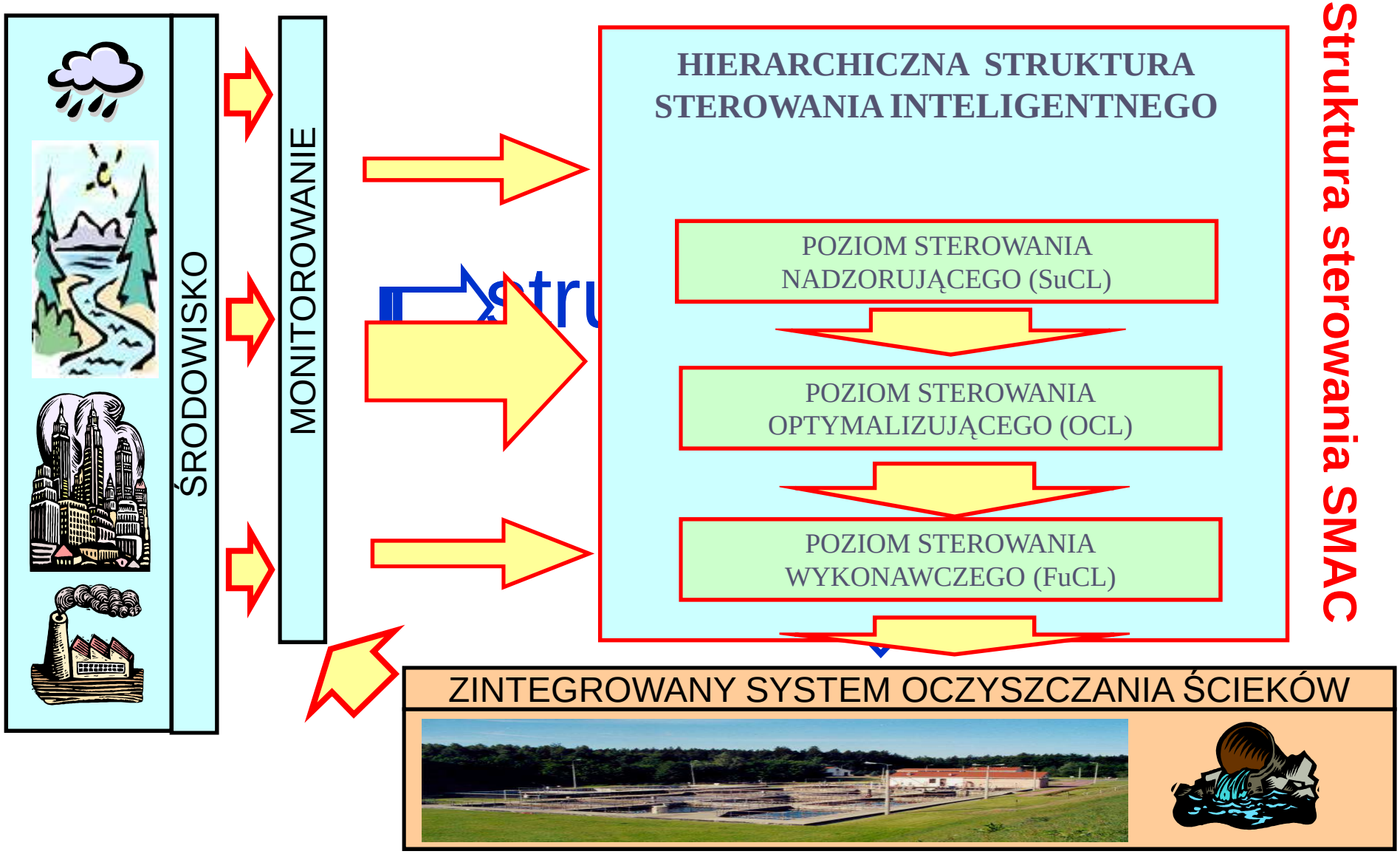
Oczyszczalnia ścieków - cechy systemu

- różne skale czasu w dynamice wewnętrznej oczyszczalni (wolna: od doby do kilku miesięcy; średnia: jedna doba; oraz szybka: rzędu jednej godziny)
- zmienność ilości i jakości ścieków, już na horyzoncie jednej doby
- silna nieliniowa dynamika o dużym wymiarze
- znaczne opóźnienia transportowe i pomiarowe
- silne interakcje zachodzących procesów
- ograniczone możliwości pomiarowe, pomimo intensywnych prac nad nowymi urządzeniami pomiarowymi
- …

Oczyszczalnia ścieków - cechy systemu

- ograniczone możliwości uzyskania dokładnej predykcji zakłóceń, między innymi ilości jak i jakości ścieków dopływających do oczyszczalni
- złożoność celów sterowania i ich wzajemna sprzeczność,
- różnorodność i silna zmienność w czasie zakłóceń
- brak pewnych modeli nadających się do celów sterowania,
- wysoki rząd stanu procesów biologicznych z niewielką liczbą współrzędnych stanu dostępnych pomiarowo

Funkcjonalna dekompozycja struktury sterowania


ŚRODOWISKO
MONITOROWANIE
HIERARCHICZNA STRUKTURA
STEROWANIA INTELIGENTNEGO
POZIOM STEROWANIA
NADZORUJĄCEGO (SuCL)
POZIOM STEROWANIA
OPTYMALIZUJĄCEGO (OCL)
POZIOM STEROWANIA
WYKONAWCZEGO (FuCL)
ZINTEGROWANY SYSTEM OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW
Struktura sterowania SMAC

Poziom sterowania nadzorującego (SuCL)

- odpowiedzialny jest za koordynowanie wszystkich działań systemu sterowania oraz wybór strategii sterowania
- grupuje potrzebne informacje o bieżącym stanie całego obiektu i dzięki globalnej wiedzy o całym systemie jest w stanie koordynować działanie poszczególnych poziomów sterowania i odpowiednio reagować na niepożądane lub niewidoczne zdarzenia wewnątrz zintegrowanego systemu ściekowego

Poziom sterowania optymalizującego (OCL)

- odpowiada za generowanie sterowania optymalnego ze względu na przyjętą strategię sterowania, a jego wyjście stanowią optymalne wartości zadane (ang. set points) dla poziomu sterowania bezpośredniego
- podział na różne strategie sterowania *(odpowiednie w danej skali czasu)* wynika bezpośrednio z dynamiki procesów oczyszczania ścieków jak i dynamiki wejść zakłócających

Poziom sterowania optymalizującego (OCL)

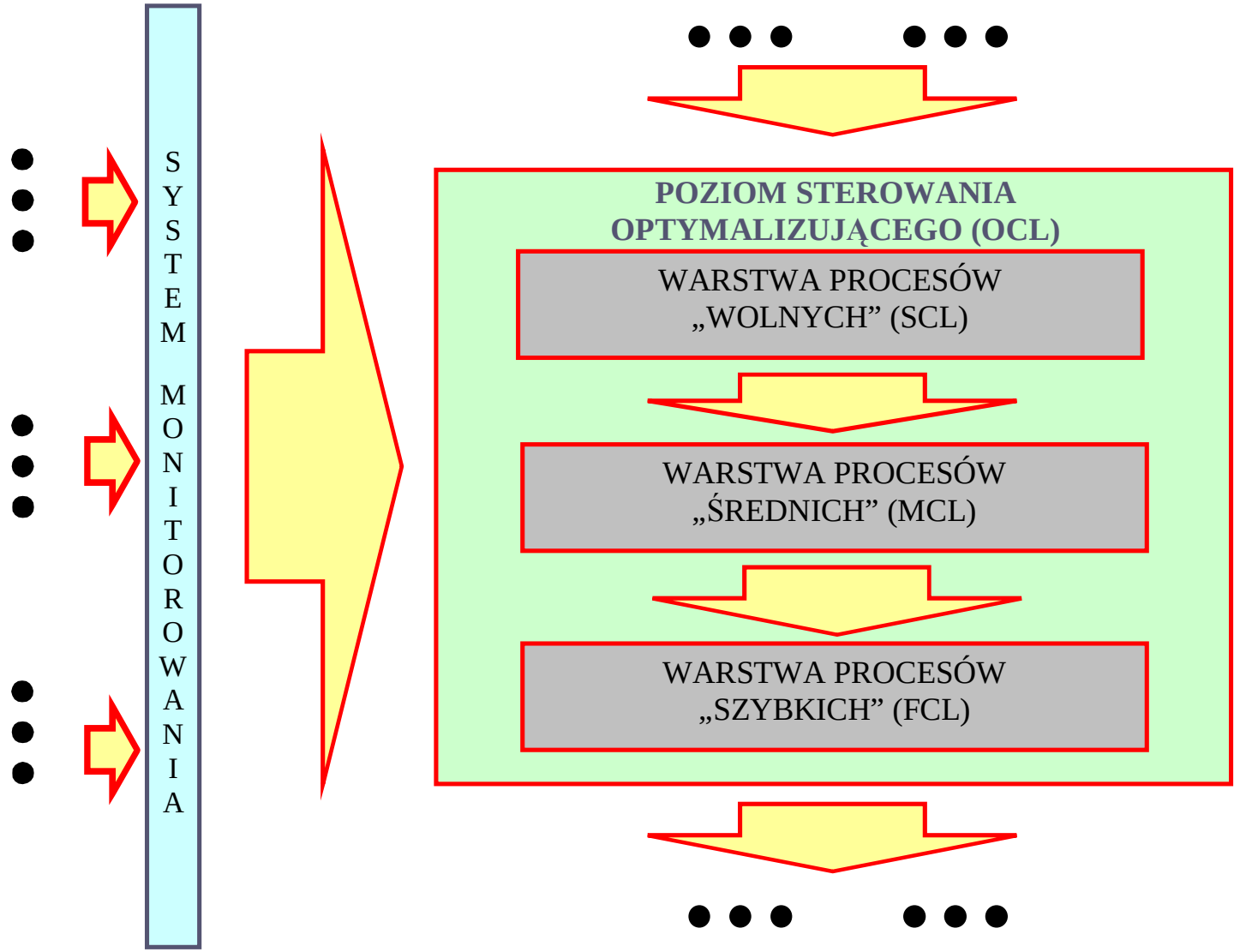
Strategie sterowania:

- długookresowe: utrzymywanie stabilności biologicznej procesu i kosztów operacyjnych prowadzenia procesu
- średniookresowe: związane z jakością ścieków oczyszczonych, ograniczeniami technologicznymi, ograniczeniami urządzeń technologicznych oraz kosztami operacyjnymi prowadzenia procesu
- krótkookresowe: związane z jakością ścieków oczyszczonych podczas „ciężkich” i krótkotrwałych zdarzeń (opad deszczu, krótkotrwale zwiększony ładunek ścieków itp.)

Poziom sterowania wykonawczego (FuCL)

- odpowiada za bezpieczne prowadzenie procesów w obiekcie, zgodnie z wyznaczonymi w warstwie wyższej sterowaniami
- warstwa FuCL ma bezpośredni dostęp do obiektu sterowanego (wpływa na proces poprzez wielkości wejściowe sterujące procesu)

Dekompozycja struktury sterowania w skali czasu



Główna technologia w tej warstwie to MPC

Wolna warstwa sterowania (SCL)

Zadaniem wolnej warstwy sterowania (SCL) jest wyznaczanie:

- trajektorii masy osadu
- trajektorii wieku osadu
- trajektorii poziomu ścieków w zbiornikach retencyjnych
- oraz trajektorii ścieków w zbiorniku asenizacyjnym

tak aby długoterminowe koszty operacyjne prowadzenia procesu były jak najmniejsze

Warstwa wolna operuje na horyzoncie sterowania od doby do kilkudziesięciu dni , przy czym generuje ona sterowania na horyzoncie tygodnia

Średnia warstwa sterowania (MCL)

Algorytm sterowania w średniej warstwie sterowania, generuje następujące trajektorie zmiennych sterujących zintegrowanym systemem ściekowym:

- trajektorie recyrkulacji wewnętrznych
- trajektorie recyrkulacji zewnętrznej
- trajektorie poziomu w zbiornikach retencyjnych
- trajektorie przepływu ścieków przez oczyszczalnię ścieków
- trajektorie tlenu rozpuszczonego w poszczególnych strefach tlenowych reaktora biologicznego
- trajektorie dozowanych środków chemicznego wspomagania strącania związków fosforu (PIX), w dopływie do biologicznej części oczyszczalni ścieków oraz w drugiej komorze tlenowej reaktora biologicznego
- trajektorie osadu nadmiernego

Warstwa średnia operuje na horyzoncie sterowania od kilku godzin do jednej doby, przy czym generuje ona sterowania co półgodziny, godzinę

Szybka warstwa sterowania (FCL)

Szybka warstwa sterowania odpowiada głównie za spełnianie wymagań związanych z:

- procesem natleniania w strefach tlenowych reaktora biologicznego, przy równoczesnym minimalizowaniu kosztów związanych z tym procesem

Szybka warstwa sterowania operuje na horyzoncie sekund i minut, przy czym krok generowania kolejnych sterowań wynosi około minuty

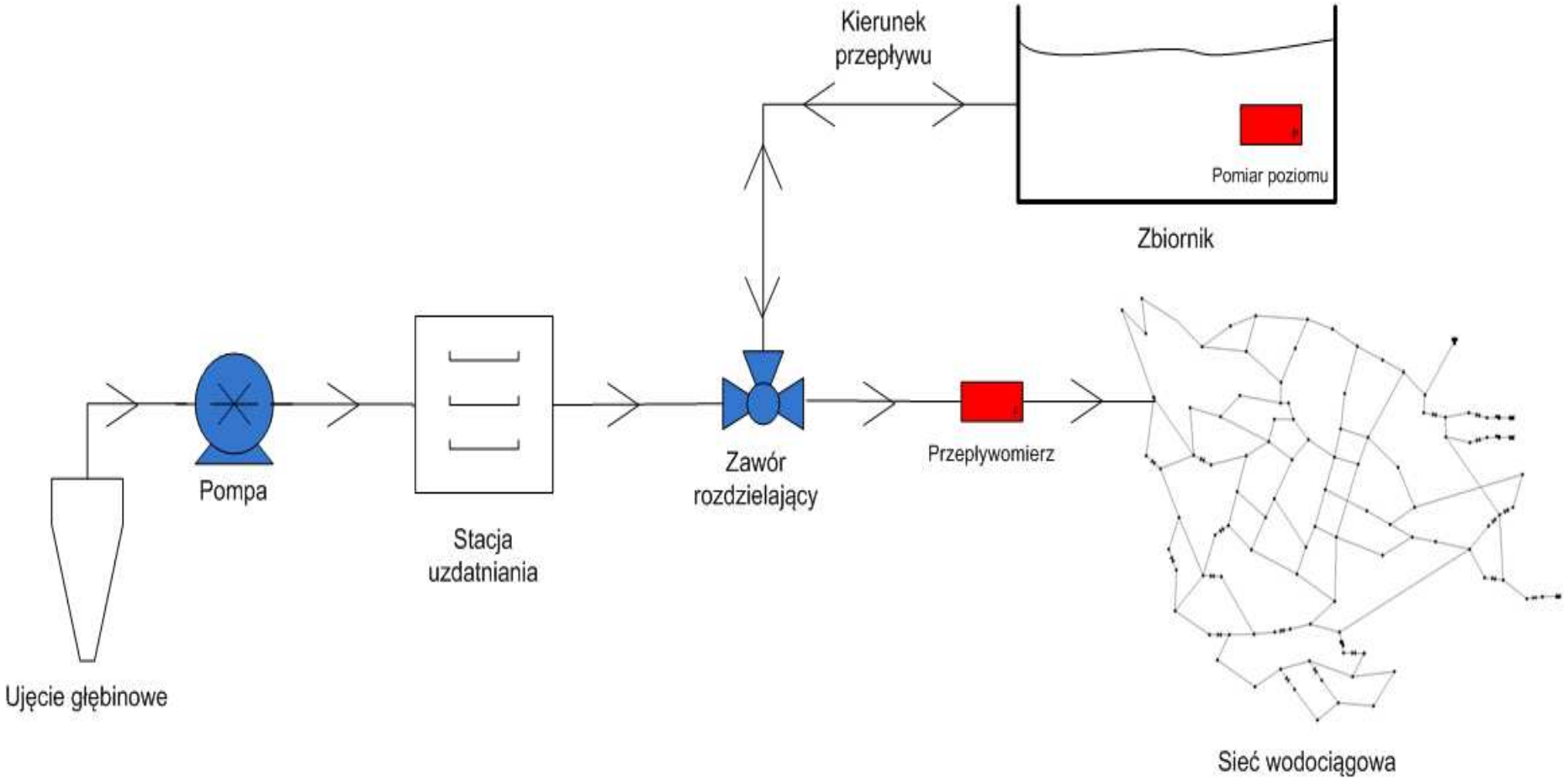
Przykład 4:

- warstwowa struktura sterowania

(zadanie realizowane w ramach laboratoriów)

© KSS 2015

Rozważany podsystem produkcji i dystrybucji wody pitnej

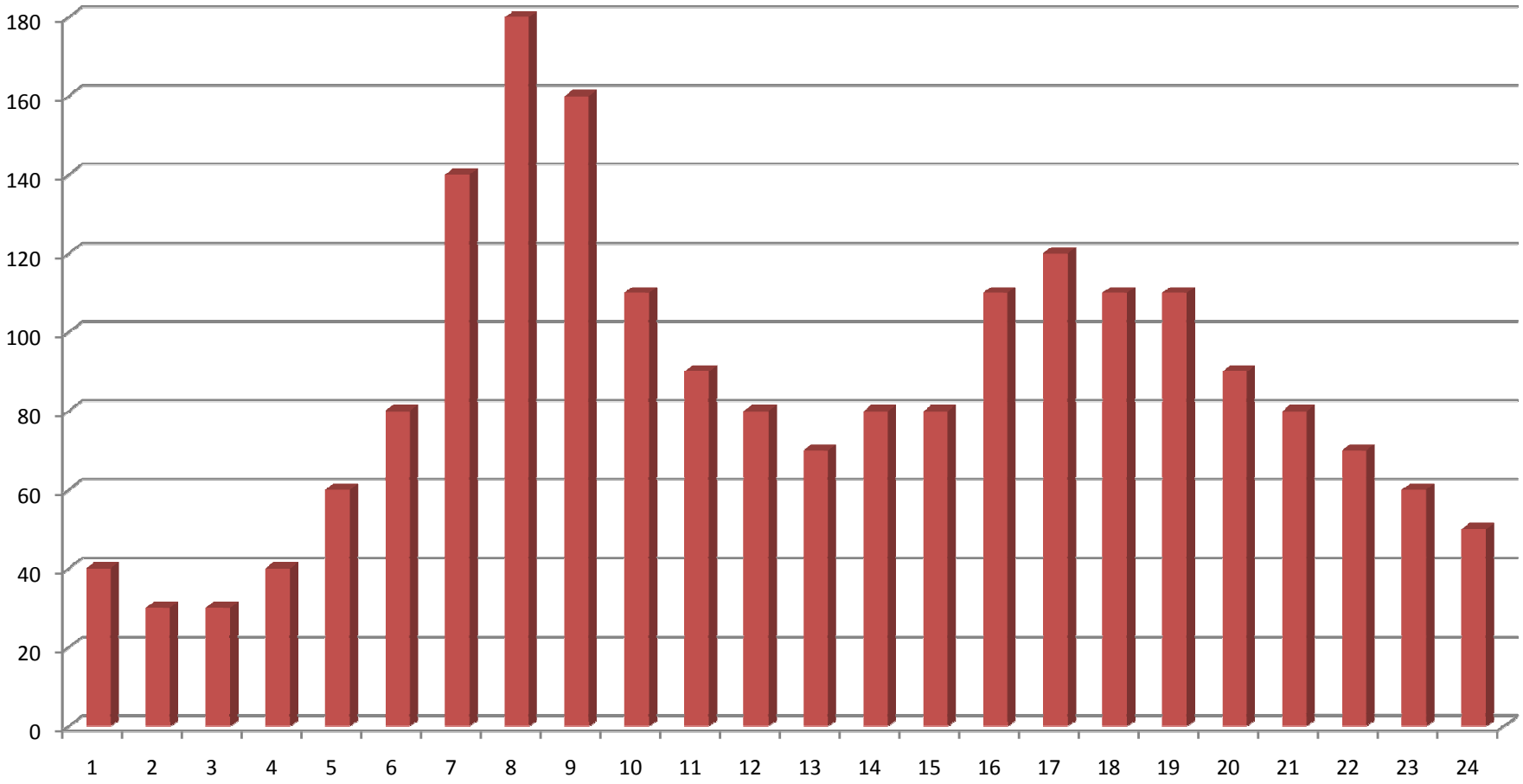


- urządzenia wykonawcze

- urządzenia pomiarowe

© KSS 2015

Zapotrzebowanie użytkowników systemu na wodę pitną



© KSS 2015

Propozycja struktury systemu sterowania

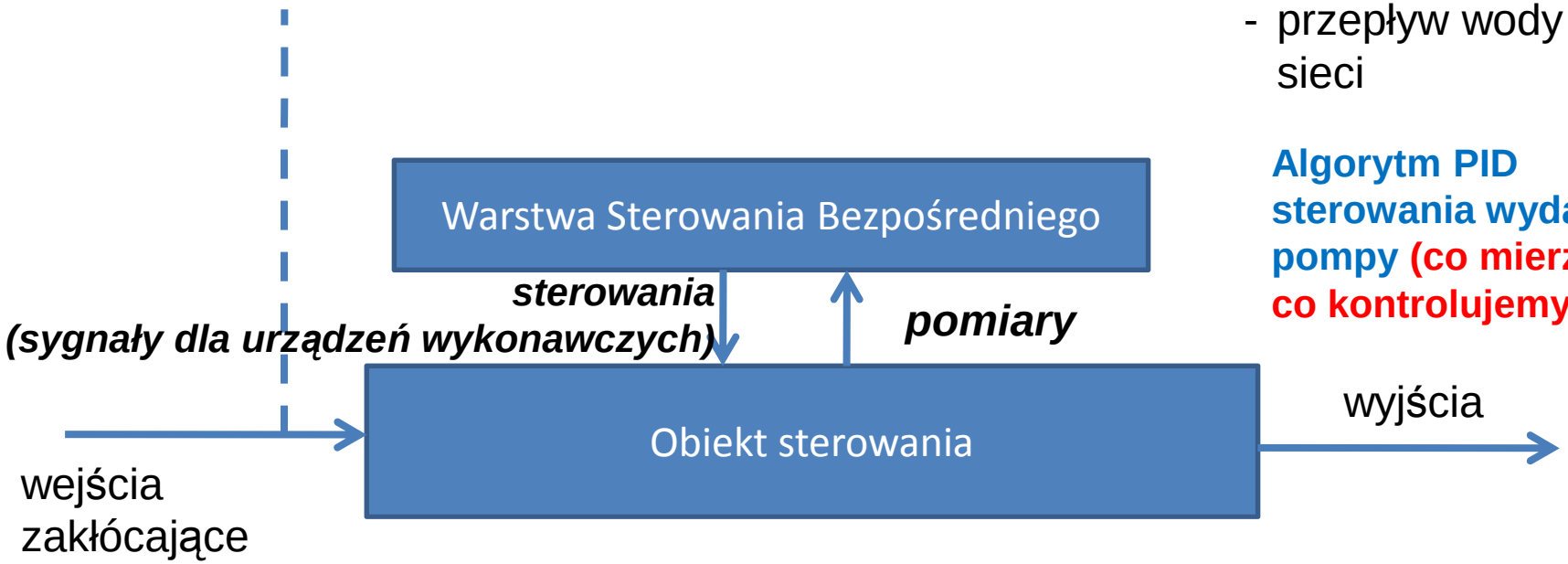
Sterowania:

- wydajność pompy
- stopnień otwarcia rozdzielacza (wpływ/wypływ do zbiornika)

Pomiary:

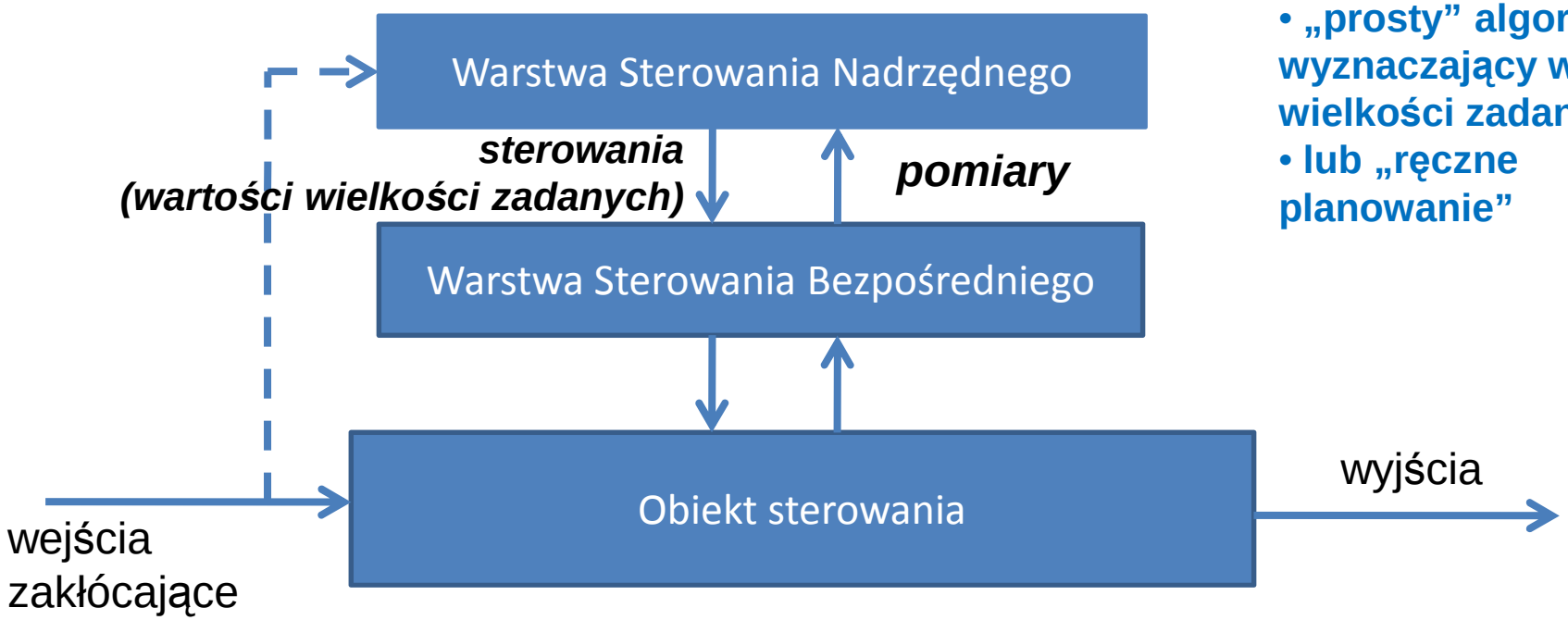
- poziom wody w zbiorniku
- przepływ wody do sieci

Algorytm PID sterowania wydajnością pompy (co mierzymy ? co kontrolujemy ?)



© KSR 2009

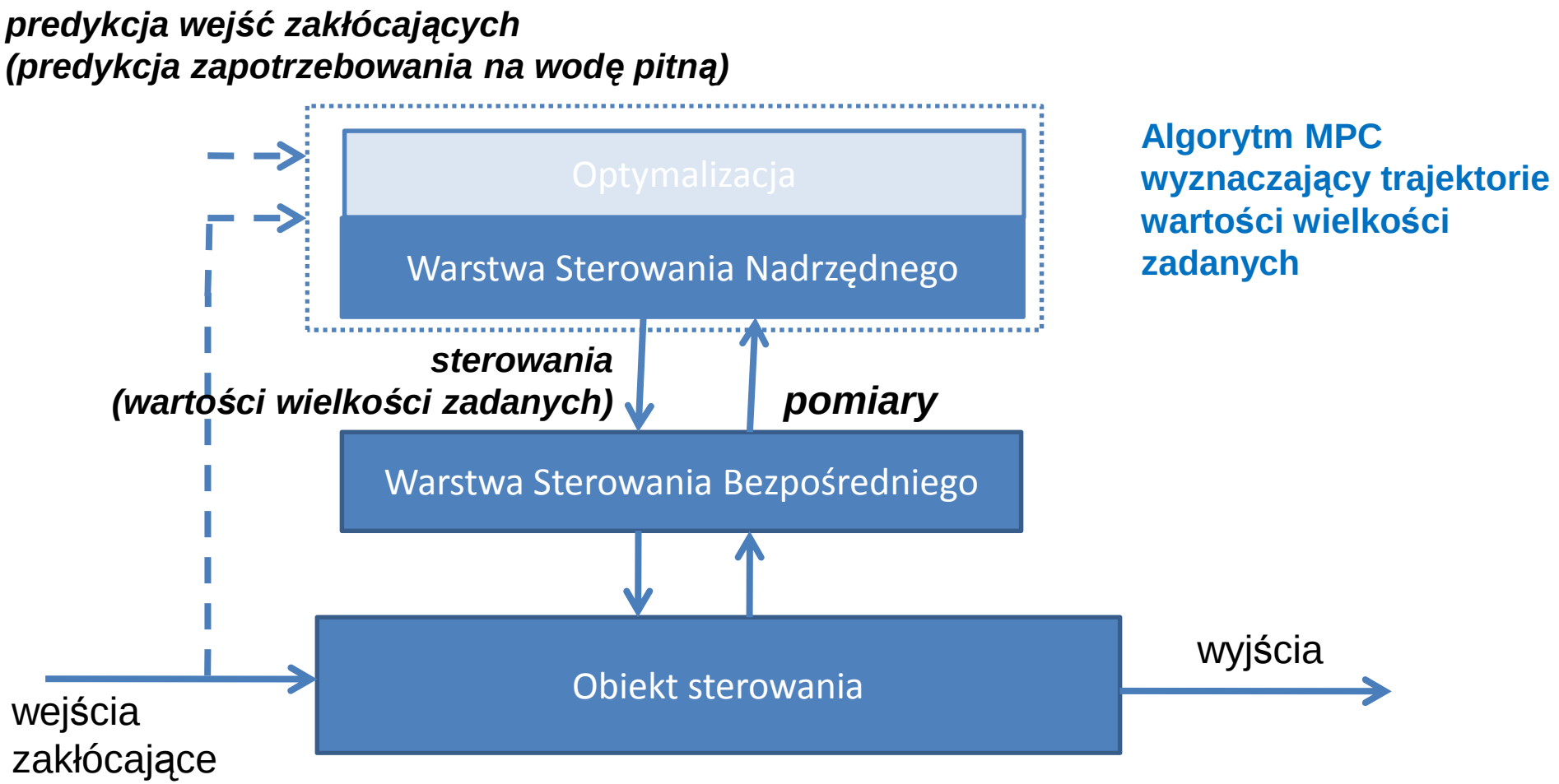
Propozycja struktury systemu sterowania



- **„prosty” algorytm wyznaczający wartości wielkości zadanych**
- **lub „ręczne planowanie”**

© KSR 2009

Propozycja struktury systemu sterowania

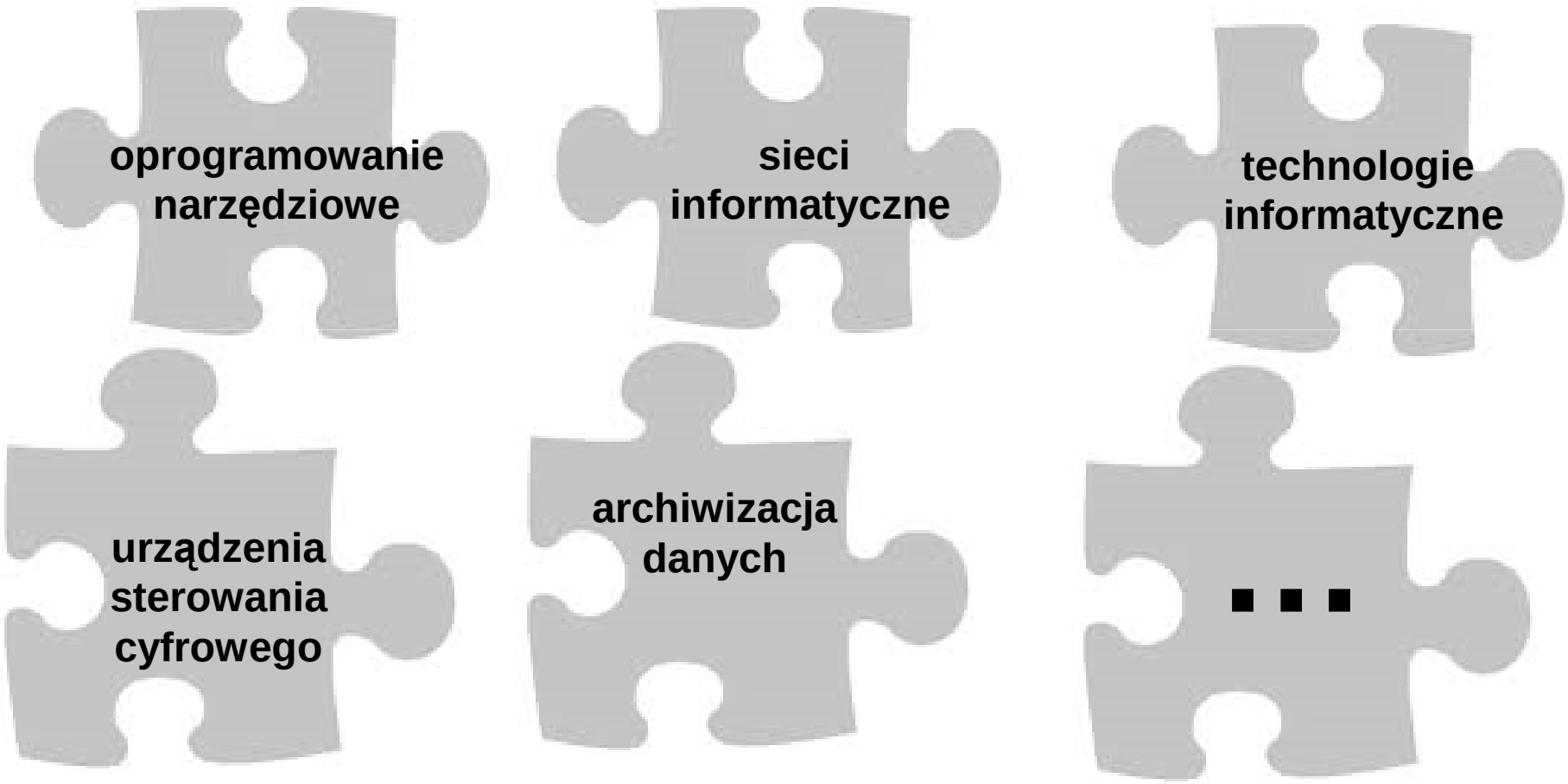


© KSR 2009

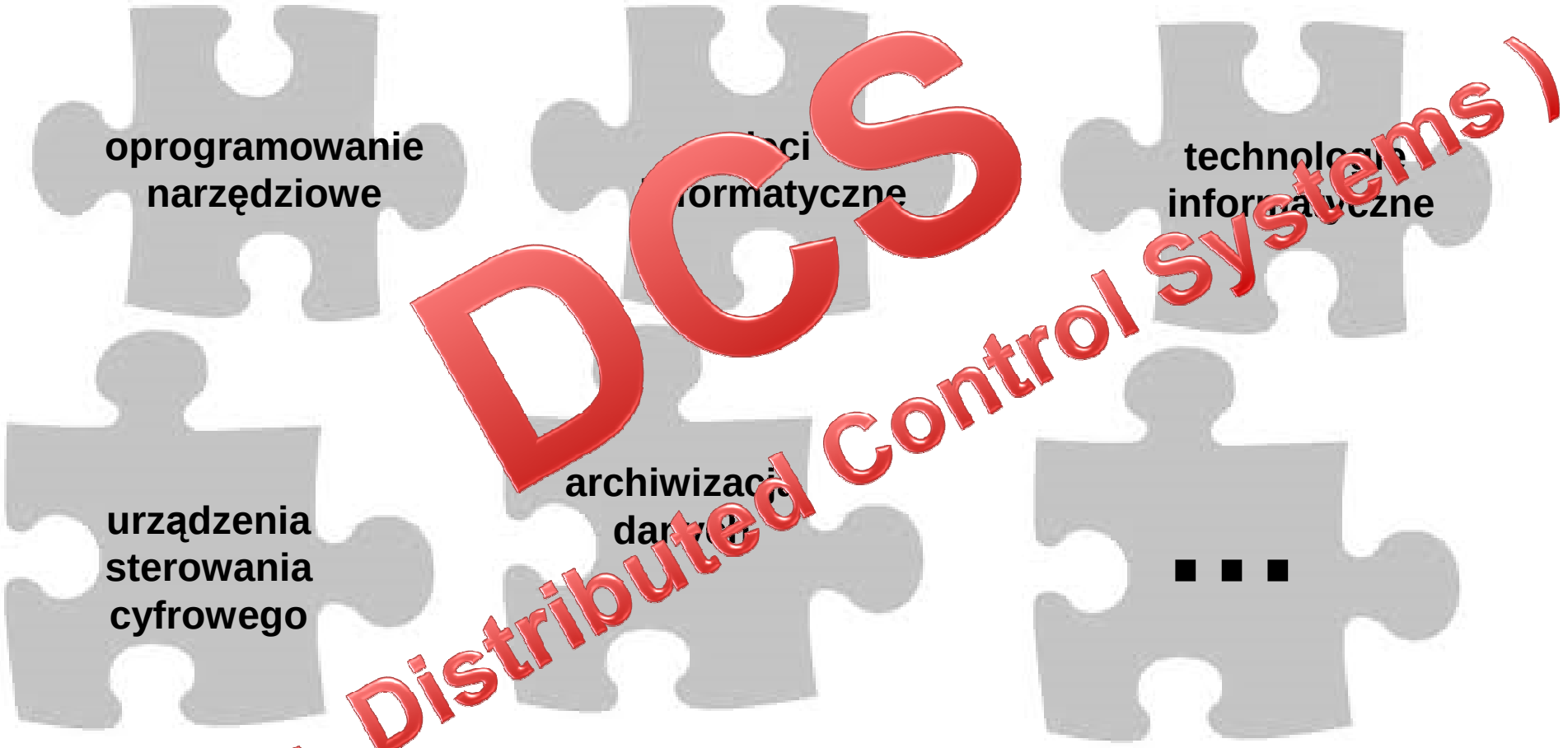
Za pomocą jakich elementów realizować opracowane struktury sterowania

???

© KSS 2015


oprogramowanie narzędziowe
sieci informatyczne
technologie informatyczne
urządzenia sterowania cyfrowego
archiwizacja danych
. . .

© KSS 2015


oprogramowanie narzędziowe
technologie informatyczne
DCS
(ang. Distributed Control Systems)
urządzenia sterowania cyfrowego
archiwizacja danych
. . .

© KSS 2015

Bibliografia:

W. Findeisen (1997). Struktury sterowania dla złożonych procesów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

W. Grega (2004). Metody i algorytmy sterowania cyfrowego w układach scentralizowanych i rozproszonych. Wydawnictwa AGH Kraków.

P. Tatjewski (2002). Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.

A. Niederliński (1985). Systemy komputerowe automatyki przemysłowej. W NT, Warszawa.

J. Liu (2011). Networked and Distributed Predictive Control: Methods and Nonlinear Process Network Applications, University of California, Los Angeles

© KSS 2015

Dziękuję za uwagę !!!